CONFERENCE BOOK

www.anadolukongresi.org

ANADOLU
18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DECEMBER 19-21, 2025 - MARDIN

ISBN : 978-625-5694-62-1

Academy Global Publishing House

ANADOLU 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 19 - 21, 2025
MARDIN

Edited By
PROF. DR. ALİ BİLGİLİ

Issued: 25.12.2025
ISBN: 978-625-5694-62-1

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 141 papers have been presented by Turkish participants and 153 papers by foreign participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House
Without permission can't be duplicate or copied.
Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.
Academy Global–2025©

CONFERENCE ID

ANADOLU 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

DECEMBER 19 - 21, 2025
MARDIN

ORGANIIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process.

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Taiwan- Malaysia – Singapore- China – Iran - Czech Republic- Poland- Nigeria- Thailand- South Korea- Brazil- Indonesia- Kenya – Kazakhstan- Saudi Arabia- Nigeria- Japan – Algeria – Bulgaria – Azerbaijan- India – Pakistan- Greece - Oman – Moldova- Tajikistan- Romania- Russia- Egypt-

-

PRESENTATION

Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -Mindanao State University

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy - Mindanao State University

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaycan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Batman Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur - Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Assoc Prof. Dr. Erkan EFİLTİ - Kırgızistan-Türkiye Manas University

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

Assist. Prof. Dr. Alia R. Masalimova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Ayslu B. Sarsekenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. K.A. Tleubergenova - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Imran Latif Saifi – South Africa

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran

T.C.
ANKARA ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Veteriner Fakültesi Dekanlığı
Fakülte Sekreterliği

Sayı : E-21304664-051-1705704 12.02.2025

Konu : 31-14279 Prof. Dr. Ali Bilgili'nin Uluslararası Kongrelerde Düzenleme ve Bilim kurullarında yer alması hk

FARMAKOLOJİ VE TOKSİKOLOJİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞINA

İlgi : Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı Başkanlığı'nın11.02.2025 tarihli ve E-41298163-051-1704750 sayılı yazısı.

İlgi yazınız uyarınca, Anabilim Dalınız öğretim üyesi Prof.Dr.Ali BİLGİLİ'nin, Yükseköğretim Kurulu'nun 15.06.2023 tarihli oturumunda doçentlik başvuruları şartları ile ilgili değişiklik önerileri kapsamında, "Academy Global Conferences & Publishing (https://www.akademikongre.org/registration)" tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görev yapması Dekanlığımızca da uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini saygılarımla rica ederim.

Prof. Dr. Necmettin ÜNAL
Dekan V.

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Doğrulama Kodu: 8E77B04B-BD26-449E-A3C8-D44477307021 Doğrulama Adresi: https://www.turkiye.gov.tr/ankara-universitesi-ebys

Zübeyde Hanım Mahallesi Şehit Ömer Halisdemir Bulvarı No: 9/C 06070 Altındağ / ANKARA
Telefon No: (0312) 317 03 15 Belge Geçer No: (0312) 316 44 72
e-posta: vetmed@veterinary.ankara.edu.tr
KEP Adresi : ankunvrek@ankuni.hs01.kep.tr

Bilgi için:Gülay ŞAFAK
Bilgisayar İşletmeni
Telefon No:(312) 317 03 15-4510
E-Posta: gsafak@ankara.edu.tr

ANADOLU 18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
DECEMBER 19 - 21, 2025
MARDIN

NO : **AC- 18A - 2025. 438u– 3051**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 20/12/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Anadolu 18. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi** 19-21 Aralık 2025 tarihlerinde Mardin'de 30 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 294 bildirinin 141'i Türkiye'den, 153'ü ise farklı 29 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Ali Bilgili

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
MESOPOTAMIA 6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION

December 19 - 21, 2025
MARDIN

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=fOYazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.1

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224

ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

- ZOOM bağlantısı için yukarıda verilen bağlantıyı veya yine yukarıda verilen giriş bilgilerini kullanabilirsiniz.
- **Oturum içerisinde en KIDEMLİ olan moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.**
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- **Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.**
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- **Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.**
- Sunum yapmak zorunludur. **Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to make a meeting online, login via https://zoom.us/join site, enter ID instead of “Meeting ID
- or Personal Link Name” and solidify the session.
- The Zoom application is free and no need to create an account.
- The Zoom application can be used without registration.
- The application works on tablets, phones and PCs.
- Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- During the session, your camera should be turned on **at least %70** of session period
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and is working.
- You should be able to use screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.
- Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number,

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç. Dr. Fatih GÜLER**	1	1982 ANAYASASI DÖNEMİNDE YÜRÜRLÜĞE KONAN VERGİ ANLAŞMALARINA İLİŞKİN KANUNLARIN ONAYLANMA SÜREÇLERİNİN DİĞER ULUSLARARASI ANLAŞMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI	Doç. Dr. Fatih GÜLER Esra ÖZDOĞANOĞLU Melih GÜNBEYİ Kumral AĞGÜL
		2	THE HUMAN RESOURCE FRAMEWORK OF TURKISH CONSTITUTIONAL LAW: AN ANALYTICAL ASSESSMENT	Doç. Dr. Fatih GÜLER
		3	PROTECTION OF CHILDREN'S PERSONAL DATA: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE KVKK AND THE GDPR	Dr. Öğr. Ü. Gaye TUĞ LEVENT
		4	THE REPRESENTATION OF A MINOR WITH LIMITED CAPACITY IN LITIGATION: AUTHORITY TO CONCLUDE A CONTRACT OF MANDATE WITH AN ATTORNEY	Dr. Öğr. Ü. Gaye TUĞ LEVENT
		5	VİYANA SATIM ANTLAŞMASI UYARINCA MİLLETLERARASI TİCARİ SÖZLEŞMELERDE İFA ENGELLERİ	Necla ÖZTÜRK Güven YARAR
		6	MİLLETLERARASI TİCARİ TAHKİMDE KOMPETENZ - KOMPETENZ İLKESİ	Necla ÖZTÜRK Güven YARAR

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Gülay ZULKADİR**	1	BİTKİLERDE BÖCEK ZARARINA KARŞI MİKORİZAL FUNGUSLARIN ETKİLERİ	Doç. Dr. Meltem AVAN Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU
		2	UTILIZING PLANT GENETIC RESOURCES TO ENHANCE CROP YIELD AND RESILIENCE AGAINST ENVIRONMENTAL CHALLENGES	Doç. Dr. Gülay ZULKADİR
		3	INTEGRATION OF MICROBIOLOGY, ORGANIC MATTER AND SUSTAINABLE FERTILIZATION APPROACHES FOR REGENERATIVE AGRICULTURE	Doç. Dr. Gülay Zulkadir
		4	EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS AND PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) APPLICATIONS ONMORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF PICKLING CUCUMBER (Cucumis Sativus L.) GROWN UNDER GREENHOUSE CONDITIONS	Assistant Professor Hasan ER Prof. Dr. Yasemin KUŞLU
		5	KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ HAM PROTEİN, HAM YAĞ VE KURU MADDE İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. İsmail ÜLGER Arş. Gör. Hüseyin Mert YÜKSEL
		6	KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ ADF-NDF İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ	Prof. Dr. İsmail ÜLGER Arş. Gör. Hüseyin Mert YÜKSEL
		7	THE USE OF WASTE IN RURAL AREAS AS CONSTRUCTİON MATERIAL IN AGRİCULTURAL STRUCTURES	Prof. Dr. Havva Eylem POLAT Res. Assis. Ahmet Cengiz YILDIRIM
		8	KURAKLIĞA DAYANIKLI ŞEKER PANCARI GENOTİPLERİNİN TESPİTİNDE BASİT, HIZLI VE DÜŞÜK MALİYETLİ SELEKSİYON YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ	Bengisu KAYADELEN Prof. Dr. Mehmet ARSLAN
		9	ADVERSE EVENT SIGNAL DETECTION IN ANTI-OBESITY DRUGS USING MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY: A MULTIVARIATE PHARMACOVIGILANCE APPROACH	Dr. Ahmet Turan DEMİR
		10	INTEGRATED COMPARATIVE METABOLITE PROFILING of GLP-1 RECEPTOR AGONISTS USING Δm, m/z, and STRUCTURAL SIMILARITY ANALYSES: AN ANALYTICAL CHEMISTRY APPROACH OF PHARMACEUTICAL RELEVANCE	Dr. Ahmet Turan DEMİR

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Dr. MEHMET ALİ DOMBAYCI**	1	BAYLE'S SCEPTICAL FIDEISM	Arş. Gör. Dr. Emine Göçer
		2	IS ERASMUS'S FIDEISM SKEPTICAL?	Arş. Gör. Dr. Emine Göçer
		3	JOHN LOCKE'UN YABANCI DİL ÖĞRETİMİNE İLİŞKİN DÜŞÜNCELERİ	Dr. Öğr. Üyesi Celal SABANCI
		4	BULL SYMBOLISM AND COSMIC SACRIFICE: THE RITUAL AND SYMBOLIC STRUCTURE OF THE TAUROCTONY IN THE CULT OF MITHRAS	Assist. Prof. Dr. Fatih EROĞLAN
		5	THE VISIBILITY OF THE SACRED THROUGH ART IN THE PHENOMENOLOGY OF RELIGION	Assist. Prof. Dr. Fatih EROĞLAN
		6	STORY DESIGN IN THE CONTEXT OF PHILOSOPHY FOR CHILDREN: THE CASE OF "MIRA'S FISH"	Prof. Dr. MEHMET ALİ DOMBAYCI Teacher of Philosophy and Related Social Sciences, İLAYDA ERDOĞAN
		7	STORY DESIGN IN THE CONTEXT OF PHILOSOPHY FOR CHILDREN: THE CASE OF "THE JUSTIFIED LIE"	Prof. Dr. MEHMET ALİ DOMBAYCI Master's Student, MELİKE GÜNDOĞDU
		8	AN ACTIVITY PROPOSAL FOR THE "MEANING OF LIFE" UNIT IN THE 2024 PHILOSOPHY CURRICULUM: MY CHOICES, MY MEANING	Sedanur TARAK Prof. Dr. Ekrem Ziya DUMAN
		9	2024 PHILOSOPHY COURSE CURRICULUM ACTIVITY SUGGESTION FOR THE ENVIRONMENTAL PROBLEMS AND PHILOSOPHY UNIT: IN THE TRACK OF GREEN ETHICS	Hacer Beyza ULUTÜRK Prof. Dr. Ekrem Ziya DUMAN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç Dr. GÜZİN PIHTILI YILDIZ**	1	Synthesis, Characterization, and Anti-Obesity Studies of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate	Adem Korkmaz
		2	SUDA ÇÖZÜNÜR YENİ ÇİNKO(II) FTALOSİYANİN SENTEZİ	Dr. Öğr. Üyesi, NAZLI ÖZTÜRK
		3	MICROEXTRACTION OF TOXIC TRACE ELEMENTS FROM COFFEE BEANS	Prof. Dr. Adil ELİK Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN
		4	USE OF NEW GREEN SOLVENT SYSTEMS İN TOXİC TRACE ELEMENT DETERMİNATİON	Prof. Dr. Adil ELİK Prof. Dr. Nail ALTUNAY Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN
		5	OTO BAKIM SEKTÖRÜNE YÖNELİK KALICI ETKİ BIRAKACAK SU BAZLI SU İTİCİ KAPLAMA ÜRÜNÜ HAMMADDESİNİN GELİŞTİRİLMESİ	Arda PEKŞEN Özge YILMAZ Ayrin İBİŞ
		6	DENİZ KAYNAKLI HİDROLİZE KOLAJENİN KOZMETİK FORMÜLASYONLARA ADAPTASYONU: SÜRDÜRÜLEBİLİR HAMMADDELERE YÖNELİK AR-GE YAKLAŞIMI	Özge YILMAZ Ahmet GEZER Ayrin İBİŞ
		7	HİDROJEL YAPILI POLİMER KOMPOZİTİN TERMAL BOZUNMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ	Doç Dr. GÜZİN PIHTILI YILDIZ
		8	D-A TÜREVLİ YAPILARDA TAUTOMERİZMİN OLED PERFORMANSINA ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÖZTÜRK Öğr. Gör. Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN
		9	FURAN MODİFİKASYONLU DTP TÜREVLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİNİN MOLEKÜLER KENETLENME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI	Öğr. Gör. Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÖZTÜRK Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN
		10	SOLVENT-DEPENDENT COMPARISON OF PHENOLIC PROFILE, ANTIOXIDANT ACTIVITY AND PROTEIN CONTENT IN URTICA DIOICA L. LEAF EXTRACTS	Lecturer Dr. Muammer TEPE

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU**	1	THE FIRST ENCOUNTER OF THE MINSTREL TRADITION WITH TELEVISION AUDIENCES: THE EXAMPLE OF ÂŞIK VEYSEL ON TRT	Doktora Öğrencisi, Nigar Dilşat KANAT
		2	KRİZ ANLARINDA DEZENFORMASYON: AFET DÖNEMLERİNDE BİLGİ KİRLİLİĞİNE İLİŞKİN BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. Fatih KIRIŞIK Arş. Gör. Dr. Fatma Sena YAMAN
		3	METAVERSE ÖLDÜ MÜ? KAVRAMSAL ÇÖKÜŞ, PİYASA DİNAMİKLERİ VE DİJİTAL KÜLTÜRDEKİ DÖNÜŞÜM ÜZERİNE LİTERATÜR TEMELLİ BİR İNCELEME	Doktora Öğrencisi Saynur URAL Dr. Öğr. Üyesi Mustafa DEMİR
		4	NEYE İNANACAĞIZ? YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞI VE GÜVENİLİR BİLGİNİN YENİDEN İNŞASI	Dr. Öğ. Üyesi MESUT YILMAZ Doçent Dr. BURAK TÜTEN Dr. Öğr. Üyesi, YUSUF MEHMET AKAY
		5	PERSONAL DOCUMENTARIES: SELF-REFLECTION AND DOCUMENTARY EXAMPLES	Prof. Dr. Şermin TAĞ KALAFATOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç.Dr.Ahmet Serhat ULUDAĞ**	1	TÜRKİYE'DE FİNANSAL GELİŞME, EKONOMİK BÜYÜME, EKOLOJİK AYAK İZİ VE KARBON EMİSYONLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ: BİR VECM ANALİZİ	Doç. Dr. Nigar ALEV Doç. Dr. Hüseyin ÇELİK
		2	BRICS-T ÜLKELERİNDE DOĞRUDAN YABANCI SERMAYE VE EKONOMİK BÜYÜME İLİŞKİSİ: CS-ARDL YAKLAŞIMINDAN KANITLAR	Doç. Dr. Hüseyin ÇELİK Doç. Dr. Nigar ALEV
		3	CLASSIFICATION OF AIRPORTS IN TÜRKİYE USING TWO NEW SAW METHOD-BASED VARIANTS	Doç.Dr.Ahmet Serhat ULUDAĞ
		4	THE IMPACT OF ECONOMIC FREEDOM ON PUBLIC HEALTH EXPENDITURES IN THE CONTEXT OF GLOBALIZATION: AN EMPIRICAL ANALYSIS FOR THE TURKISH ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Ömer Uğur BULUT
		5	CARBON EMISSION LEVELS OF COMPANIES IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY	Doç. Dr. Oğuz Yusuf ATASEL Doç. Dr. Nevzat GÜNGÖR Doç. Dr. Yasin ŞEKER
		6	ANALYSIS OF CARBON EMISSIONS IN BRICS+T COUNTRIES	Doç. Dr. Yasin ŞEKER Doç. Dr. Oğuz Yusuf ATASEL Doç. Dr. Nevzat GÜNGÖR
		7	EVALUATION OF FINANCIAL TECHNOLOGY (FINTECH) PERFORMANCE OF SUB-SAHARAN AFRICAN COUNTRIES AND TURKEY USING MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING TECHNIQUES: MEREC-BASED COCOSO METHOD	Dr. Öğr. Üyesi Hilal OK ERGÜN Doç. Dr. Tolga ERGÜN
		8	ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF MANUFACTURING INDUSTRY SECTORS IN TURKEY USING THE ENTROPY-WEIGHTED TOPSIS METHOD	Dr.Öğretim Üyesi Ülker ÇAM KARAKAŞ Prof.Dr.Adem KARAKAŞ
		9	OSMANLI VERGİ SİSTEMİNİN MİRAS KAYITLARI BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Arş. Gör. Dr. Gökhan GELEGEN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU**	1	SUDAN HAVAYA ISI POMPALARINDA KULLANILAN R410A SOĞUTUCU AKIŞKANINA ALTERNATİF OLUŞTURABİLECEK SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN PERFORMANS VE MALİYETLERİNİN TEORİK OLARAK DEĞERLENDİRMESİ	Ar-Ge Mühendisi, Emre Aydın
		2	GEOMETRIC OPTIMIZATION AND HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN ROTATING CYLINDRICAL FLOW	M.Sc. Student Ünal Yavuz ÇELİK Doç. Dr. Merdin DANIŞMAZ
		3	NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF DESIGN PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF AN AIR-SOURCE HEAT PUMP CONDENSER	M.Sc. Student Zaid Ahmed Al-QUHAITI Doç. Dr. Merdin DANIŞMAZ
		4	ESNEK İKİ UZUVLU DÜZLEMSEL MANİPÜLATÖRÜN KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Suat KOÇ Doç. Dr. Semiha BULUT
		5	INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF THE EFFECTS OF TOOL NOSE RADIUS ON ENERGY CONSUMPTION AND SURFACE QUALITY FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MANUFACTURING	Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU
		6	ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CUTTING CONDITIONS AFFECTING SURFACE QUALITY AND VIBRATION	Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU
		7	STRUCTURAL ANALYSIS AND LIGHTWEIGHTING STUDY OF M2-CLASS COMMERCIAL VEHICLE SEATS	HÜSEYİN KESKİN MEHMED EMRE KÜÇÜKKAYA Doç. Dr. AHMET YILDIZ
		8	AN NTOP CONNECTOR BASED INTEGRATION OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES INTO NTOP	Res. Asst., AHMET DAYANÇ Prof. Dr., İSMET ÇELİK
		9	MECHANICAL COMPARISON OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES AND TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES UNDER MATCHED MASS AND ENVELOPE VOLUME	Res. Asst., AHMET DAYANÇ Prof. Dr., İSMET ÇELİK

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI**	1	THE DESSERT OF POETRY: "PÂLUDE" IN CLASSICAL TURKISH POETRY	Doç. Dr. Talip ÇUKURLU
		2	THE KOPUZ IN CLASSICAL TURKISH POETRY AND THE GAZEL WITH THE 'KOPUZ' REDIF BY ŞEHZADE KORKUT	Doç. Dr. Talip ÇUKURLU
		3	FROM DEPTH TO CULTURE: REASSESSMENT OF THE UNCONSCIOUS WITH FREUD, LACAN, AND KRISTEVA	Mahmut ÇİFCİ Assoc. Prof. Dr. Defne Erdem METE
		4	RETHINKING MEDIUM OF DECEPTION: LESSONS FROM SHAKESPEARE'S OTHELLO	Dr. Umar Mukhtar SHAGO
		5	CHILD EXPLOITATION AND JUSTICE IN CHARLES DICKENS'S "DAVID COPERFIELD"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		6	FAMILY IN D. H. LAWRENCES'S "SONS AND LOVERS"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Amaneh Manafidizaji**	1	ADÖLESAN YÜZÜCÜLERDE SPORA KATILIM GÜDÜLERİ İLE SPOR DENEYİMİNDEN BEKLENTİLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Emrullah YILMAZ Doktora Öğrencisi Helin OLCAY YILDIRAK Doç. Dr. Tuğba MUTLU BOZKURT
		2	FEN LİSELERİNDE 12. SINIF BEDEN EĞİTİMİ DERSİNİN KALDIRILMASININ EĞİTİMSEL, SOSYAL VE PSİKOLOJİK YANSIMALARI: BEDEN EĞİTİMİ ÖĞRETMENLERİNİN GÖRÜŞLERİNE DAYALI BİR İNCELEME	Doktora Öğrencisi Mustafa Nurullah KADI Doktora Öğrencisi Behnam CÜCÜ Doktora Öğrencisi Emrullah YILMAZ Doktora Öğrencisi Ahmethan YILDIRAK Doç. Dr. Ramazan ERDOĞAN Prof. Dr. Mehmet Ali ÖZTÜRK
		3	EXAMINATION OF WINTER SPORTS AWARENESS LEVELS OF FACULTY OF SPORTS SCIENCES STUDENTS ACCORDING TO VARIOUS VARIABLES	Doç. Dr. Murat TURAN Vahit Mustafa DOĞAN
		4	COGNITIVE BEHAVIORAL TENDERS OF FITNESS ATHLETES IN MALATYA PROVINCE TOWARDS PHYSICAL ACTIVITY	Doç. Dr. Ramazan BAYER Leyla AYDOĞAN
		5	EXAMİNİNG THE BASİC PSYCHOLOGİCAL NEEDS OF FEMALE FİTNESS ATHLETES DURİNG EXERCİSE	Doç. Dr. Ramazan BAYER Leyla AYDOĞAN
		6	SPORUN DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜ: TEKNOLOJİK ENTEGRASYON, EĞİTİM VE KÜLTÜREL YANSIMALAR	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TAŞ Doç. Dr. Nuri Berk GÜNGÖR
		7	SPORDA PERFORMANS ANALİZİNDE YAPAY ZEKA VE MAKİNE ÖĞRENMESİ UYGULAMALARI: SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR TARAMASI	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet TAŞ Doç. Dr. Nuri Berk GÜNGÖR

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Serdal KARA**	1	THE SEMANTICS OF THE IMPERATIVE MOOD IN TURKISH: THE TENSION BETWEEN APOPHANTIC AND COMMANDING ONTOLOGIES	Prof. Dr. Serdal KARA
		2	TERCEME-İ ESRÂRNÂME'DE İSİM TAMLAMALARI	Öğr. Gör. Dr. Gül GÜLTEKİN
		3	Vasir Bilkadir Abdülhamid II's Eklimisation 2 of Communication Office as a Soft Power Against Jewish Zionism	Murat GÖKMEN
		4	THE POSSESSİVE SYSTEM İN TURKİSH AND AZERBAİJANİ TURKİC	Hatice BELENLİ Doç. Dr. Meriç GÜVEN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi**	1	THE EVOLUTION OF SILK ROAD TRADE ROUTES AND THEIR IMPACT ON AZERBAIJANI CULTURAL EXCHANGE	Prof. Dr. Elnur Mammadov, Dr. Aysel Karimova, Farid Huseynov
		2	MEDIEVAL ISLAMIC SCHOLARSHIP AND INTELLECTUAL DEVELOPMENTS IN AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Nigar Aliyeva, Elvin Rahimov
		3	PERSIAN HISTORIOGRAPHY AND THE QAJAR DYNASTY'S RELATIONS WITH CENTRAL ASIA	Dr. Reza Ahmadi, Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi
		4	SAFAVID ARCHITECTURAL INFLUENCES ON URBAN PLANNING IN 16TH-CENTURY IRAN	Fatemeh Karimi, Dr. Mohammad Jafari
		5	COLONIAL LEGACIES AND NATIONALIST HISTORIOGRAPHY IN POST-INDEPENDENCE ALGERIA	Prof. Dr. Karim Belkacem, Yacine Hadji
		6	BERBER CULTURAL RESISTANCE AND IDENTITY FORMATION UNDER OTTOMAN RULE IN ALGERIA	Dr. Nadia Zerhouni, Assoc. Prof. Dr. Samir Lounis, Amina Boualem
		7	BYZANTINE-GEORGIAN DIPLOMATIC RELATIONS AND THEIR IMPACT ON CAUCASUS GEOPOLITICS	Prof. Dr. Nino Tsiskarishvili, Dr. Levan Beridze
		8	SOVIET MODERNIZATION POLICIES AND THEIR EFFECTS ON GEORGIAN RURAL ECONOMIES	Assis. Prof. Dr. Tamar Kapanadze, Giorgi Gelashvili, Dr. Maka Chikvaidze

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof. Dr. Chinedu Okonkwo,**	1	POSTCOLONIAL THEMES IN CHINUA ACHEBE'S NOVELS AND NIGERIAN IDENTITY FORMATION	Prof. Dr. Chinedu Okonkwo,
		2	ORAL TRADITION TRANSFORMATION IN CONTEMPORARY NIGERIAN POETRY	Assoc. Prof. Dr. Emeka Nwosu, Fatima Yusuf, Chukwudi Obi
		3	EPIC MOTIFS IN MAHMUD KASHGARI'S DIVANÜ LÜGAT-İT TÜRK AND KAZAKH LITERARY TRADITION	Dr. Aidana Kairatova, Assoc. Prof. Dr. Erlan Tursunov
		4	FEMINIST DISCOURSE IN MODERN KAZAKH PROSE POST-INDEPENDENCE	Gulnaz Abilkair, Dr. Zhanna Satybaldiyeva
		5	FRENCH COLONIAL INFLUENCE ON MODERN ALGERIAN ARABIC POETRY	Prof. Dr. Ahmed Zerhouni, Samia Belkacem
		6	BERBER ORAL EPICS AND IDENTITY POLITICS IN POSTCOLONIAL ALGERIAN LITERATURE	Dr. Lounis Hadji, Assoc. Prof. Dr. Fatima Mansouri, Karim Djemai
		7	SYMBOLISM IN VASHA-GIRASI GEORGIAN ROMANTIC POETRY AND NATIONAL AWAKENING	Prof. Dr. Nino Chikhradze, Dr. Levan Tsiklauri
		8	POST-SOVIET GEORGIAN PROSE AND MEMORY POLITICS OF CIVIL WAR	Assis. Prof. Dr. Tamar Beridze, Giorgi Kapanadze, Dr. Maka Lomidze

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assis. Prof. Dr. Sergei Kuznetsov**	1	THE AFRICAN UBUNTU ETHICS AND CONTEMPORARY GLOBAL HUMAN RIGHTS DISCOURSE	Prof. Dr. Chukwuemeka Okoro, Tunde Adebayo
		2	EXISTENTIALISM IN POST-COLONIAL AFRICAN IDENTITY FORMATION: SARTRE VERSUS SENEGALESE THINKERS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf, Emeka Nwosu
		3	NOMADIC EPISTEMOLOGY AND KNOWLEDGE PRODUCTION IN CENTRAL ASIAN PHILOSOPHY	Dr. Almaz Kairatov, Aidana Tursunova, Bekzat Omirbek
		4	ECOLOGICAL COSMOLOGY IN KAZAKH TRADITIONAL WORLDVIEWS AND MODERN ENVIRONMENTAL ETHICS	Zhanar Sarsenova, Prof. Dr. Erlan Baiserke
		5	ISLAMIC RATIONALISM VERSUS SUFISM IN ALGERIAN PHILOSOPHICAL TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Larbi Hadji, Dr. Souad Belkacem
		6	DECOLONIAL EPISTEMOLOGY AND KNOWLEDGE DECOLONIZATION IN POST-INDEPENDENCE ALGERIA	Amine Zerhouni, Fatima Lounis
		7	HEIDEGGERIAN BEING-IN-THE-WORLD AND ORTHODOX THEOLOGY IN RUSSIAN PHILOSOPHY	Prof. Dr. Dmitry Ivanov, Dr. Elena Petrova
		8	DOSTOEVSKY'S POLYPHONIC NOVELS AND BAKHTINIAN DIALOGISM IN CONTEMPORARY ETHICS	Assis. Prof. Dr. Sergei Kuznetsov, Anna Volkova, Mikhail Orlov
		9	NIETZSCHEAN WILL-TO-POWER IN RUSSIAN SLAVOPHILISM AND EURASIANISM	Dr. Olga Smirnova, Viktor Kuzmin

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Almaz Kulanov**	1	IMPACT OF OIL PRICE VOLATILITY ON ALGERIAN FISCAL SUSTAINABILITY AND ECONOMIC DIVERSIFICATION	Prof. Dr. Ahmed Belhadj, Dr. Fatima Zahraoui, Karim Lounis
		2	MICROFINANCE IMPACT ON RURAL WOMEN ENTREPRENEURSHIP IN ALGERIAN AGRICULTURAL SECTORS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Bouabida, Samir Khelifa
		3	SUKUK ISLAMIC BOND MARKET DEVELOPMENT AND EGYPTIAN FISCAL FINANCING STRATEGIES	Dr. Mohamed El-Sayed, Yasser Ramadan
		4	EXCHANGE RATE PASS-THROUGH EFFECTS ON EGYPTIAN IMPORT INFLATION DYNAMICS	Assoc. Prof. Dr. Hala Abdel Aziz, Dr. Omar Khalil, Nour El-Din
		5	KAZAKHSTAN'S GREEN ENERGY TRANSITION AND ITS MACROECONOMIC IMPLICATIONS	Prof. Dr. Almaz Kulanov
		6	DIGITAL FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES IN KAZAKHSTAN'S RURAL ECONOMIES	Dr. Aizhan Tulegenova, Bekzat Nurgaliyev, Assis. Prof. Dr. Madina Sarsenbayeva
		7	RUSSIA'S SANCTIONS EVASION STRATEGIES AND THEIR TRADE DIVERSIFICATION EFFECTS	Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Sergei Volkov
		8	CRYPTOCURRENCY ADOPTION DYNAMICS IN RUSSIA'S SHADOW ECONOMY SECTORS	Assoc. Prof. Dr. Dmitry Kuznetsov, Elena Morozova, Nikita Ivanov
		9	NATURAL GAS PRICING REFORMS AND RUSSIA'S LONG-TERM ENERGY EXPORT COMPETITIVENESS	Dr. Olga Smirnova, Prof. Dr. Alexei Fedorov, Maria Volkova

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Leila Ahmadi**	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR SUSTAINABLE GROWTH IN OMANI SMEs	Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Dr. Fatima Al-Harthi
		2	BLOCKCHAIN APPLICATIONS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT FOR OMANI LOGISTICS FIRMS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Belushi, Sara Al-Mahrooqi
		3	IMPACT OF ESG INVESTING ON FIRM PERFORMANCE IN TEHRAN STOCK EXCHANGE	Dr. Reza Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Mina Sharifi
		4	SERVANT LEADERSHIP EFFECTS ON EMPLOYEE INNOVATION IN IRANIAN TECH STARTUPS	Mohammad Karimi, Dr. Leila Ahmadi
		5	CIRCULAR ECONOMY MODELS FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN IRANIAN MANUFACTURING	Prof. Dr. Ali Rezaei, Fatemeh Bahrami
		6	FINTECH DISRUPTION AND TRADITIONAL BANKING COMPETITIVENESS IN IRAN	Assis. Prof. Dr. Saeed Jafari, Neda Tavakoli
		7	AGILE PROJECT MANAGEMENT ADOPTION IN IRANIAN CONSTRUCTION INDUSTRY	Hassan Nourbakhsh, Dr. Parisa Ghasemi
		8	STRATEGIC ALLIANCES AND MARKET EXPANSION FOR RUSSIAN ENERGY FIRMS	Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Dmitry Volkov, Elena Kuznetsova

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Chioma Agu**	1	POST-BYZANTINE ICONOGRAPHY IN ALBANIAN ORTHODOX CHURCH ART	Prof. Dr. Luan Rama, Dr. Anila Meta
		2	ILLYRIAN MOTIFS IN CONTEMPORARY ALBANIAN TEXTILE DESIGN TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Dorina Shehu, Erion Llagami
		3	YORUBA SCULPTURAL TRADITIONS AND CONTEMPORARY NIGERIAN URBAN INSTALLATIONS	Dr. Chinedu Okoro, Ngozi Eze
		4	NOK TERRACOTTA INFLUENCES ON MODERN NIGERIAN CERAMIC PRACTICES	Prof. Dr. Fatima Yusuf, Adebayo Salisu
		5	IGBO MASQUERADES AND PERFORMANCE ART IN POSTCOLONIAL NIGERIAN THEATRE	Assis. Prof. Dr. Uchechi Nwosu, Emeka Okafor,
		6	HAUSA CALLIGRAPHY REVIVAL THROUGH DIGITAL TYPOGRAPHY IN NORTHERN NIGERIA	Dr. Chioma Agu
		7	BENIN BRONZE AESTHETICS IN CONTEMPORARY NIGERIAN JEWELRY DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Olusegun Adeyemi, Temitope Ogunleye
		8	RENAISSANCE FRESCO TECHNIQUES IN CONTEMPORARY ITALIAN SACRED ART	Prof. Dr. Giovanni Rossi, Dr. Elena Bianchi, Marco Ferraro

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Olumide Ojo**	1	FISCAL POLICY RESPONSES TO POST-PANDEMIC ECONOMIC RECOVERY IN ROMANIA	Prof. Dr. Andrei Popescu, Dr. Maria Ionescu, Radu Stanescu
		2	IMPACT OF EU SINGLE MARKET INTEGRATION ON ROMANIAN EXPORT COMPETITIVENESS	Assoc. Prof. Dr. Elena Vasilescu, Bogdan Marinescu
		3	MICROFINANCE INSTITUTIONS' ROLE IN SME GROWTH ACROSS EMERGING ECONOMIES	Dr. Chinedu Okonkwo, Ngozi Eze
		4	OIL PRICE VOLATILITY AND NIGERIAN MONETARY POLICY TRANSMISSION	Prof. Dr. Fatima Yusuf, Assis. Prof. Dr. Emeka Nwosu
		5	AGRICULTURAL VALUE CHAINS AND FOOD SECURITY IN NORTHERN NIGERIA	Dr. Aisha Bello, Tunde Adebayo, Zainab Ibrahim
		6	DIGITAL FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES FOR UNBANKED POPULATIONS IN NIGERIA	Assoc. Prof. Dr. Olumide Ojo
		7	SUSTAINABLE ENERGY TRANSITION FINANCING IN POST-OIL AZERBAIJAN ECONOMY	Prof. Dr. Vugar Ahmadov, Dr. Leyla Mammadova
		8	CASPIAN SEA RESOURCE SHARING AND REGIONAL TRADE DYNAMICS	Assoc. Prof. Dr. Elchin Huseynov, Aysel Karimova, Farid Gurbanov
		9	IMPLICATIONS OF CRYPTOCURRENCY ADOPTION FOR AZERBAIJANI MONETARY SOVEREIGNTY	Dr. Nigar Aliyeva, Rashad Ibrahimov

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Ali Hosseini**	1	THE THEOLOGICAL IMPLICATIONS OF SUFISM IN CONTEMPORARY ROMANIAN ISLAMIC COMMUNITIES	Prof. Dr. Mihai Popescu, Dr. Elena Vasilescu, Radu Ionescu
		2	ECUMENICAL DIALOGUE BETWEEN ORTHODOX AND CATHOLIC THEOLOGIANS IN MODERN ROMANIA	Assoc. Prof. Dr. Andrei Dumitrescu, Sorin Marinescu
		3	QURANIC HERMENEUTICS AND CONTEMPORARY ETHICAL CHALLENGES IN IRANIAN SHIITE SCHOLARSHIP	Dr. Zahra Rahmani, Assoc. Prof. Dr. Ali Hosseini
		4	THE INCARNATION DOCTRINE IN PATRISTIC THEOLOGY: ROMANIAN ORTHODOX PERSPECTIVES	Assis. Prof. Dr. Ioana Petrescu, Mihai Stanescu, Dr. Laura Grigore
		5	PENTECOSTAL GROWTH AND TRADITIONAL RELIGIONS IN NIGERIAN CHRISTIAN PLURALISM	Prof. Dr. Chukwuma Eze, Ngozi Okonkwo
		6	ISLAMIC BANKING PRINCIPLES AND ECONOMIC JUSTICE IN NORTHERN NIGERIA	Dr. Aisha Mohammed, Assoc. Prof. Dr. Yusuf Bello, Fatima Ibrahim
		7	CHRISTIAN MISSIONARY EDUCATION AND INDIGENOUS WORLDVIEWS IN SOUTHERN NIGERIA	Emeka Nwosu, Dr. Chioma Udoh, Prof. Dr. Peter Okoro
		8	SUNNI ESCHATOLOGY AND CENTRAL ASIAN REVIVALIST MOVEMENTS IN CONTEMPORARY TAJIKISTAN	Rahmonov Dilshod, Dr. Gulnora Karimova
		9	ZOROASTRIAN INFLUENCES ON EARLY ISLAMIC MYSTICISM IN PAMIRI TAJIK COMMUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Farrukh Saidov, Nigina Rahimova, Dr. Azizullo Dustov

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç. Dr. Fuat YALMAN**	1	DETERMINING THE EFFECT OF FRAILTY ON PSYCHOLOGICAL WELL- BEING IN THE ELDERLY	Öğr. Gör. Dr. Rukiye DEMİR DİKMEN
		2	THE RELATIONSHIP BETWEEN FRAILTY AND QUALITY OF LIFE IN THE ELDERLY	Öğr. Gör. Dr. Rukiye DEMİR DİKMEN
		3	THE EFFECT OF SOCIAL SUPPORT ON ORGANIZATIONAL SUPPORT AND ORGANIZATIONAL TRUST: AN APPLICATION ON HEALTHCARE WORKERS	Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ Doç. Dr. Fuat YALMAN
		4	THE MEDIATING ROLE OF PATIENT TRUST IN THE EFFECT OF PERCEIVED HEALTHCARE SERVICE QUALITY ON OUTPATIENTS' BEHAVIORAL INTENTIONS	Doç. Dr. Fuat YALMAN Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ
		5	DIGITAL DEPRIVATION AND THE IMPACT OF THE DIGITAL DIVIDE ON OLDER ADULTS' MENTAL HEALTH: SOCIAL WORK INTERVENTIONS	Sezen Soner Aykut
		6	FAST-FOOD CONSUMPTİON & EARLY PUBERTY	Anahid KAZEMI DAREHBIDI Dr. Öğr. Üyesi Wida SAMZARI
		7	TYPE 2 DIABETES & DIETARY PATTERNS	Anahid KAZEMI DAREHBIDI Dr. Öğr. Üyesi Wida SAMZARI
		8	CANCER AND GUT MICROBIOTA	Dietitian Dilara KIRKGÖZ Dr. KERİM KAAN GÖKÜSTÜN
		9	DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÖĞRENCİ SPORCULAR İÇİN HAFTALIK MENÜ PLANLAMASI: BESİN İHTİYAÇLARI VE MALİYET OPTİMİZASYONU	Sevilay GÖNCE Alkım Doğaç GENÇ Dr. Öğr. Üyesi Demet ÇANGA BOĞA

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Okan SARIGÖZ**	1	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ SOSYAL BİLGİLER DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMININ YEŞİL MEDYA OKURYAZARLIĞI AÇISINDAN İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Şayla YILDIRIM
		2	THE EFFECT OF MATHEMATICS LESSONS ENRICHED WITH ORFF ACTIVITIES ON ELEMENTARY STUDENTS' MATHEMATICS ANXIETY	Sedanur TEMİZ Dr. Öğr. Üyesi Songül PEKTAŞ
		3	2024 MAARİF MODELİ TÜRK DİLİ VE EDEBİYATI ÖĞRETİM PROGRAMININ YARATICI DÜŞÜNME BECERİSİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Sera KARAGÜLLE Dr. Öğr. Üyesi Hatice ÇİLSALAR SAGNAK
		4	CREATIVE TEACHING PRACTICES AND FLIPPED LEARNING: SUPPORTING THE SELF-EFFICACY AND MOTIVATION OF PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS	Assoc. Prof. Dr. Canan CENGIZ
		5	FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ ÇOCUKLAR İÇİN FELSEFE EĞİTİMİNE YÖNELİK GÖRÜŞLERİ	Doç. Dr. Canan CENGİZ Arş. Gör. Dr. Maşide GÜLER
		6	ACADEMIC COMPETENCE AND CAREER DEVELOPMENT OF TEACHERS: THE EFFECTS OF PURSUING A MASTER'S DEGREE	Doç. Dr. Okan SARIGÖZ
		7	THE EFFECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS ON TEACHER MOTIVATION: OPPORTUNITIES, RISKS, AND SOLUTION SUGGESTIONS	Doç. Dr. Okan SARIGÖZ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğr. Üyesi Murat URFALIOĞLU**	1	DEVELOPMENT, ANALYSIS AND DESIGN OF A WEB-BASED DIGITAL SOLIDARITY PLATFORM: DISASTER ASSISTANCE PLATFORM	Emirhan YILDIZ Lecturer Aslıhan KARATAŞ Yusuf Mehmet Can KARATAŞ
		2	DEVELOPMENT OF A WEB-BASED EDUCATION PLATFORM FOR INTERACTION AND GUIDANCE IN DISTANCE EDUCATION: MENTORUM	Ahmet Ege SANDAL Sena AĞAÇYETİŞTİREN Niyazi Emir AKDEMİR Muhammed Ufuk ASLAN Lecturer Aslıhan KARATAŞ
		3	A BIBLIOMETRIC STUDY OF TRANSFORMERS AND LARGE LANGUAGE MODELS IN SENTIMENT ANALYSIS	Arş. Gör. Hasan DEMİR Doç. Dr. Kürşat Mustafa KARAOĞLAN Prof. Dr. İlker TÜRKER
		4	PREDICTING STUDENT STRESS LEVELS USING MACHINE LEARNING MODELS AND INTERPRETING THEM WITH EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS	Dr. Öğr. Üyesi Murat URFALIOĞLU
		5	DAMB: DYNAMIC ADAPTIVE MULTI-MODEL BENCHMARKING FOR AUTOMATIC TEXT SUMMARIZATION	Mehmet BURUKANLI Davut ARI

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Üyesi Leyla İŞBİLEN**	1	THE ISSUE OF UNDESIRABLE INPUT-OUTPUT IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS	Dr. Öğr. Üyesi Leyla İŞBİLEN
		2	CRYPTOCURRENCIES, EQUITIES AND GOLD: DIVERSIFICATION POTENTIAL AND RISK–RETURN TRADE-OFFS IN SIMPLE MIXED PORTFOLIOS	Dr. Öğretim Üyesi Çağlar SÖZEN
		3	ANALYTICAL SOLUTIONS TO FRACTIONAL ORDER INITIAL VALUE PROBLEMS	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		4	A NUMERICAL APPROACH FOR THE ATANGANA-BALEANU-CAPUTO FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATION UTILIZING FRACTIONAL ADAMS-BASHFORTH TYPE METHOD	Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA Prof. Dr. Ali DEMIR
		5	ACCURACY ANALYSIS OF BATHYMETRY MAP GENERATED WITH WORLDVIEW-2 AND ICESAT-2 DATA: THE CASE OF GÜLBAHÇE BAY, İZMIR	Umut TEKE Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven Koçak

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Doç. Dr. Melek AKGÜL**	1	SERAMİK TOZU KATKILI DOĞAL HİDROLİK KİREÇ ESASLI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	Nazlı TARHAN Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ
		2	İNŞAAT YIKINTI ATIĞI AGREGASI İLE İMAL EDİLEN GEÇİRİMLİ KAZIĞIN KOHEZYONSUZ ZEMİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	Doç. Dr. Talha SARICI Arş. Gör. Mustafa ÖZCAN Rüçhan Enes KORKMAZ
		3	KAZIKLI TEMEL SİSTEMLERİNDE KAZIKLAR ARASI MESAFENİN BLOK YÖNTEMİ HESAPLAMALARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Arş. Gör. Mustafa ÖZCAN Dr. Öğr. Üyesi Alper ÖZMEN Doç. Dr. Talha SARICI
		4	BİNA ENERJİ SİMÜLASYONLARINDA KALİBRASYON ARAÇLARININ GELİŞİMİ VE GELECEK PERSPEKTİFİ	Arş. Gör. Feyza YILMAZ Prof. Dr. İdil AYÇAM Prof. Dr. Asena SOYLUK
		5	TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM: BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK ANALİZ	Dr. Öğretim Üyesi Özlem BATTAL ŞAL
		6	KARABÜK İLİNDE AKILLI ULAŞIM UYGULAMALARINDA YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sema YAKUT Dr.Öğretim Üyesi Özlem BATTAL ŞAL
		7	THE EFFECT OF NANO SİLİCA USE ON COMPRESSİVE STRENGTH İN SELF- COMPACTİNG MORTARS UNDER Na_2SO_4 INFLUENCE	Doç. Dr. Melek AKGÜL
		8	THE EFFECT OF PERLİTE AND PUMİCE DUST ON THE COMPRESSİVE STRENGTH OF LİME-FREE MASONRY MORTARS	Doç. Dr. Melek AKGÜL

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc . Prof. Dr. , Emine TARAKCİ EREN**	1	UNDERSTANDING THE SOCIAL DIMENSION TO ECOLOGICAL DEGRADATION – A CASE STUDY OF DELHI-NCR	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		2	GELİŞMİŞ CEPHELERDE HAVALANDIRMA PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: KAPSAMLI LİTERATÜR TARAMASI	Öğr. Gör. Dr. Mustafa Serhan ÜNLÜTÜRK Mehmet TOSUN Ahmet Selim ALBAYRAK
		3	TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ BİNALARDA DIŞ DUVAR MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ	Mimar Zeynep ÇAKMAN Mimar Tuğba DİLİMEL Prof. Dr. Ercan ÖZGAN
		4	TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ ÇATI KATI DÖŞEME MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ	Mimar Tuğba DİLİMEL Mimar Zeynep ÇAKMAN Prof. Dr. Ercan ÖZGAN
		5	TRANSFORMATION OF IRRATIONAL FORMS INTO SPACE	Assoc . Prof. Dr. , Emine TARAKCİ EREN Assoc . Prof. Dr. , Banu KARAŞAH
		6	Transformation Of Basic Geometric Forms To Space	Assoc . Prof. Dr. , EMİNE TARAKCİ EREN Assoc . Prof. Dr. , BANU KARAŞAH

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ**	1	KABLO SAĞLIK DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE ÇOK SINIFLI OLARAK SINIFLANDIRILMASI	Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL
		2	GENİŞ BANT GÜÇ SAYAÇLARINDA ÖLÇÜM HATALARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM	Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL Dr. Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK
		3	TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISININ TEKNİK VE ENERJİ ODAKLI DEĞERLENDİRİLMESİ	Melike İnci ŞAHİN Prof. Dr., Ramazan KÖSE
		4	ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA AERODİNAMİK TASARIMIN ŞEHİR İÇİ ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ	Melike İnci ŞAHİN Prof. Dr., Ramazan KÖSE
		5	INDUSTRIAL MOTOR START-UP MANAGEMENT SYSTEM	Öğrenci Akif DUYMUŞ Dr.Öğr. Üyesi Özhan ÖZKAN
		6	ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TABANLI MOBİL BAKIM ASİSTANI	Öğrenci Muhammet Naci Gülsün Dr. Öğr. Üyesi Özhan Özkan
		7	ENERGY CONSUMPTION-BASED CO_2 EMISSIONS ANALYSIS IN UNIVERSITY CAMPUS BUILDINGS	Öğr. Gör. Abdulkadır GÜNGÖR Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
		8	ANALYSIS OF ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS AT MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY CAMPUS	Öğr. Gör. Abdulkadır GÜNGÖR Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Doç. Dr.Hayriye SAĞIR**	1	ALTERNATIVE FORMS OF POLITICAL PARTICIPATION IN TÜRKİYE: DIGITAL ACTIVISM AND CIVIL RESISTANCE	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Ali UGAN
		2	FROM A TECHNICAL DOMAIN TO A POLICY INSTRUMENT: THE GREEN INTERNET OF THINGS AND SUSTAINABLE PUBLIC POLICIES	Doç. Dr.Hayriye SAĞIR
		3	INSTITUTIONAL INTEGRATION AND COOPERATION NETWORKS IN METROPOLITAN GOVERNANCE: THE CASE OF STUTTGART	Doç. Dr. Hayriye Sağır YL Öğr. Mine Demir
		4	AHMET AĞAOĞLU VE BATICILIK	Dr. Ahmet AYDIN
		5	CHANGE MANAGEMENT IN THE PUBLIC SECTOR IN THE 21ST CENTURY: DIGITALIZATION PERSPECTIVE	Doç.Dr. Seda ÇANKAYA KURNAZ Doç. Dr. Ömer Faruk TEKİN
		6	FOUR DIMENSIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE PUBLIC SECTOR: DATA INTEGRATION, POLICY INNOVATION, SMART APPLICATION, AND COLLABORATION	Doç.Dr. Seda ÇANKAYA KURNAZ Doç. Dr. Ömer Faruk TEKİN
		7	2020–2025 ARASINDA POLİTİK VE SİYASAL GELİŞMELER İLE DEMOKRASİ DEĞİŞKENLERİN EĞİTİM HAYATINA YANSIMALARI	AHMET ÇİÇEK
		8	KENTSEL GÜVENLİK VE TOPLUMSAL CİNSİYET ÇALIŞMALARI KAPSAMINDA LİTERATÜR İNCELEMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Nesrin BARAN TELLİ Doç. Dr. Seda TAPDIK TERZİOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ**	1	AESTHETIC CULTURE IN A THEORETICAL CONTEXT	Öğr.Grv. Necmi Karkın
		2	DATA ANALYSIS AND CODING ERRORS IN QUALITATIVE RESEARCH	Dr. Öğretim Üyesi Zeynep KURNAZ
		3	THE INTERSECTION POINTS OF ETHICAL THEORIES AND POLITICAL ETHICS APPROACHES	Öğr. Gör. Dr. Talha TURHAN
		4	FEMİNİST SANATTA POLİTİKA VE ESTETİK ARASINDAKİ GERİLİM: TARİHSEL VE ÇAĞDAŞ PERSPEKTİFLER	Prof. Dr. Ercan ŞAHBUDAK Yüksek Lisans Öğrencisi Ayşe Nur AYDOĞAN
		5	DİJİTAL ÇAĞIN SANAT PRATİKLERİ	Prof. Dr. Ercan ŞAHBUDAK Yüksek Lisans Öğrencisi Duygu ÖNCÜ
		6	CAUSES OF DIVORCE AND GENERAL TRENDS IN TURKEY	Dr. Sinem SOYHAN Dr. Hülya ONAY
		7	OSMANLI SARAYINDA KADINLARIN İKTİDAR MÜCADELESİ: HÜRREM SULTAN-MAHİDEVRAN SULTAN REKABETİ	Zelal LAÇO
		8	TÜRKİYE'DE KADINLARIN KONUMU: 2000–2023 DÖNEMİNDE TOPLUMSAL CİNSİYET EŞİTSİZLİKLERİ	Çisem Manaf Ülfiye Çelikkalp Esin Seçgin Sayhan
		9	AN EVALUATION OF THE PROBLEMS FACED BY IRANIAN ASYLUM-SEEKER FAMILIES LIVING in VAN	Research Assistant, PhD. Ali Rıza KILIÇ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Research Assistant Aylin UZUN**	1	RESPECT IN THE CONTEXT OF METACOGNITION AND VALUES	Research Assistant Aylin UZUN
		2	DIGITAL CROWD PSYCHOLOGY IN THE CONTEXT OF SOCIAL INFLUENCE AND CONFORMITY	Research Assistant Aylin UZUN
		3	YARIM KALANIN YANKISI: KAYIP YAŞANTISINDA BİTMEMİŞ İŞLERİN UZUN SÜRELİ YAS İLE İLİŞKİSİNDE VAROLUŞSAL ENDİŞE VE OTANTİKLİĞİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi Beyza Nur ALGÜL Dr. Öğr. Üyesi Çılga Beril YAVUZ
		4	VALUES AND SOCIAL BEHAVIOUR	Sümeyye AYATA Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ
		5	MEASURING VALUES	Sümeyye AYATA Tolga SEKİ Prof. Dr. Bülent DİLMAÇ
		6	PSYCHOLOGICAL FLEXIBILITY AMONG EMERGING ADULTS: THE PREDICTIVE ROLE OF COGNITIVE FLEXIBILITY AND HOPE	Dr. Öğr. Üyesi Semra KİYE Psikolojik Danışman Elif DEMİR
		7	MINDFULNESS AMONG EMERGING ADULTS: PREDICTIVE POWER OF ANXIETY, DEPRESSION, AND STRESS	Dr. Öğr. Üyesi Semra KİYE Psikolojik Danışman Elif DEMİR

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Chukwuma Nwosu,**	1	THE IMPACT OF ECONOMIC MIGRANT FLOWS FROM ROMANIA TO WESTERN EUROPE ON LABOR MARKET DYNAMICS POST-2007 EU ACCESSION	Prof. Dr. Mihai Popescu, Dr. Elena Vasilescu, Radu Ionescu
		2	CLIMATE-INDUCED RURAL-TO-URBAN MIGRATION PATTERNS IN ROMANIAN AGRICULTURAL REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Andreea Stanescu, Bogdan Marinescu
		3	POST-CONFLICT REFUGEE INTEGRATION CHALLENGES IN ROMANIAN URBAN COMMUNITIES	Dr. Ioana Grigore, Sorin Petrescu, Livia Dragomir
		4	BRAIN DRAIN EFFECTS OF NIGERIAN MEDICAL PROFESSIONALS TO THE UK AND USA	Prof. Dr. Chukwuma Nwosu,
		5	INTERNAL RURAL-URBAN MIGRATION AND SLUM FORMATION DYNAMICS IN LAGOS METROPOLIS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Yusuf, Emmanuel Okeke, Chioma Nwankwo
		6	FEMALE MIGRANT ENTREPRENEURSHIP AND ECONOMIC EMPOWERMENT IN NIGERIAN DIASPORA COMMUNITIES	Assis. Prof. Dr. Tunde Afolabi
		7	YOUTH LABOR MIGRATION FROM TAJIKISTAN TO RUSSIA AND ITS SOCIOECONOMIC CONSEQUENCES	Prof. Dr. Farrukh Saidov, Dilnoza Rahimova
		8	CLIMATE MIGRATION AND CROSS-BORDER DISPLACEMENT FROM TAJIKISTAN TO UZBEKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Gulnora Mirzoeva, Dr. Sherali Nazarov, Malika Ubaidullaeva

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso**	1	INNOVATIVE STEM EDUCATION MODELS FOR RURAL SCHOOLS IN MOLDOVA	Prof. Dr. Ionela Popescu, Dr. Mihai Radu, Ana Lupu
		2	DIGITAL LITERACY PROGRAMS AND THEIR EFFECT ON CRITICAL THINKING IN MOLDOVAN UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Valentina Dragomir, Sergiu Ciobanu
		3	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR STUDENTS WITH DISABILITIES IN MOLDOVAN PRIMARY SCHOOLS	Dr. Elena Savin, Nicolai Balan, Maria Turcan
		4	BLENDED LEARNING EFFECTIVENESS IN INDONESIAN VOCATIONAL HIGH SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso
		5	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH LESSON STUDY IN INDONESIAN ELEMENTARY SCHOOLS	Dr. Siti Nurhaliza, Rina Wijaya, Adi Pratama
		6	STEM GENDER EQUITY INTERVENTIONS IN INDONESIAN SECONDARY SCHOOLS	Prof. Dr. Agus Setiawan, Lina Sari
		7	MIGRANT EDUCATION CHALLENGES AND INTEGRATION STRATEGIES IN GREEK PUBLIC SCHOOLS	Dr. Katerina Papadopoulos, Nikos Georgiadis
		8	DIGITAL TRANSFORMATION IN GREEK HIGHER EDUCATION POST-COVID-19	Assoc. Prof. Dr. Sofia Dimitriou, Petros Laskaris, Eleni Markou
		9	TEACHER WELL-BEING AND ITS IMPACT ON STUDENT OUTCOMES IN GREEK SECONDARY EDUCATION	Prof. Dr. Dimitris Stavropoulos
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 - 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assis. Prof. Dr. Lala Hidayati,**	1	PUBLIC TRUST IN LOCAL GOVERNMENT IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA: DETERMINANTS AND POLICY IMPLICATIONS	Prof. Dr. Ana Rusu, Dr. Mihai Țurcanu, Irina Cebotari
		2	E-GOVERNMENT ADOPTION AND DIGITAL INCLUSION IN MOLDOVAN PUBLIC SERVICES	Assoc. Prof. Dr. Victor Sandu, Elena Munteanu, Dr. Dorin Popov
		3	CITIZEN PARTICIPATION IN URBAN POLICYMAKING: EVIDENCE FROM CHIȘINĂU	Dr. Natalia Grosu, Andrei Balan, Prof. Dr. Sergiu Țopa
		4	PUBLIC SERVICE MOTIVATION AND PERFORMANCE AMONG CIVIL SERVANTS IN INDONESIA	Dr. Rina Kartika, Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso, Dwi Lestari, Ahmad Rizky
		5	DECENTRALIZATION AND LOCAL FISCAL CAPACITY IN INDONESIA: CHALLENGES FOR EQUITABLE DEVELOPMENT	Prof. Dr. Siti Wardani, Dr. Fajar Prakoso, Nabila Rahman
		6	SOCIAL PROTECTION PROGRAMS AND POVERTY REDUCTION IN INDONESIA: A PUBLIC POLICY ASSESSMENT	Assis. Prof. Dr. Lala Hidayati, Putri Anggraini, Dr. Yohan Saputra
		7	CIVIC ENGAGEMENT AND PUBLIC DELIBERATION IN CONTEMPORARY GREECE	Dr. Dimitra Papadopoulou, Prof. Dr. Nikolaos Arvanitis, Sofia Kallergi
		8	PUBLIC HEALTH GOVERNANCE AND COMMUNITY RESILIENCE DURING ECONOMIC CRISIS IN GREECE	Assoc. Prof. Dr. Eleni Karakosta, Dr. Andreas Milonas,

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Yacine Mecherri, Assoc. Prof. Dr. Leila Bouzi**	1	COMMUNITY-BASED SOCIAL WORK INTERVENTIONS TO REDUCE URBAN POVERTY IN TEHRAN NEIGHBORHOODS	Prof. Dr. Reza Mohammadi, Dr. Sara Etemadi, Amirhossein Jalili
		2	FAMILY-BASED SOCIAL WORK PRACTICE IN SUPPORTING CHILDREN OF DIVORCED PARENTS IN IRAN	Dr. Hamid Rezaei, Niloofar Shafiei, Mahdi Khosravi
		3	SOCIAL WORK RESPONSE TO SUBSTANCE USE DISORDERS AMONG YOUTH IN MASHHAD	Dr. Parisa Ahmadi, Assis. Prof. Dr. Navid Hosseinzadeh, Samaneh Ghasemi
		4	ROLE OF SOCIAL WORKERS IN COMMUNITY REINTEGRATION OF FORMER POLITICAL PRISONERS IN ALGERIA	Prof. Dr. Samir Benkhelifa, Dr. Nadia Zerrouki, Amina Rahmani
		5	SOCIAL WORK PRACTICE WITH FAMILIES OF MISSING PERSONS FROM THE ALGERIAN CIVIL CONFLICT	Dr. Yacine Mecherri, Assoc. Prof. Dr. Leila Bouzid
		6	EMPOWERMENT-ORIENTED SOCIAL WORK WITH WOMEN IN INFORMAL SETTLEMENTS IN ALGERIA	Assis. Prof. Dr. Karima Haddad, Rachid Belkacem, Salima Ouali, Dr. Mourad Cheriet
		7	HOSPITAL-BASED SOCIAL WORK SUPPORT FOR FAMILIES OF CHILDREN WITH CHRONIC ILLNESS IN OMAN	Dr. Salim Al-Harthy, Prof. Dr. Aisha Al-Mandhari, Fatma Al-Hinai
		8	SOCIAL WORK WITH MIGRANT WORKERS AND THEIR FAMILIES IN MUSCAT	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Balushi, Dr. Huda Al-Rashdi,

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Ahmed Belkacem,**	1	IMPACT OF SANCTIONS ON IRANIAN NON-OIL EXPORTS AND TRADE DIVERSIFICATION STRATEGIES	Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Soraya Ahmadi, Ali Karimi
		2	FISCAL POLICY RESPONSES TO OIL PRICE VOLATILITY IN IRANIAN MACROECONOMIC STABILITY	Dr. Fatemeh Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Reza Jafari
		3	MICROFINANCE IMPACT ON RURAL ENTREPRENEURSHIP AND POVERTY ALLEVIATION IN IRAN	Leila Bahrami, Dr. Mehran Tavakoli, Nima Sharifi
		4	EXCHANGE RATE PASS-THROUGH EFFECTS ON ALGERIAN IMPORT INFLATION DYNAMICS	Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Yacine Mansouri
		5	PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY AND GROWTH PROSPECTS IN POST-PANDEMIC ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Nadia Zerhouni, Karim Lounis, Samia Bouzid
		6	INFORMAL ECONOMY DYNAMICS AND TAX COMPLIANCE CHALLENGES IN ALGERIAN URBAN CENTERS	Dr. Farid Amrane, Assis. Prof. Dr. Houda Djemai
		7	GCC MONETARY UNION FEASIBILITY AND OMAN'S OPTIMAL CURRENCY AREA ASSESSMENT	Prof. Dr. Salim Al-Harthy, Dr. Noor Al-Maskari
		8	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT AND ECONOMIC DIVERSIFICATION IN OMAN'S MUSANDAM REGION	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Belushi, Fatima Zahran, Dr. Tariq Al-Hinai
		9	ISLAMIC FINANCE INNOVATIONS AND SME FINANCING GAPS IN OMAN'S POST-COVID RECOVERY	Rashid Al-Mahrouqi, Dr. Layla Al-Kindi

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Soraya Emami**	1	POST-COLONIAL THEMES IN PAKISTANI ENGLISH NOVELS: IDENTITY AND HYBRIDITY	Prof. Dr. Ayesha Khan, Dr. Bilal Ahmed, Sana Malik
		2	URDU POETRY'S EVOLUTION DURING THE PAKISTAN MOVEMENT: NATIONALIST DISCOURSES	Assoc. Prof. Dr. Fatima Raza, Omar Siddiqui
		3	FEMINIST VOICES IN CONTEMPORARY PAKISTANI SHORT FICTION: SUBALTERN NARRATIVES	Dr. Nadia Parveen, Hassan Rauf, Zainab Qureshi
		4	KAZAKH ORAL EPICS AND MODERN NATIONAL IDENTITY CONSTRUCTION IN LITERATURE	Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Tolegenov
		5	LINGUISTIC HYBRIDITY IN KAZAKHSTANI RUSSIKOGOVORYASHCHIE LITERATURE	Assis. Prof. Dr. Dinara Sarsenova, Almaz Kairatov, Aidana Zhumagaliyeva
		6	POST-SOVIET ECOCRITICISM IN KAZAKHSTANI ENVIRONMENTAL FICTION	Dr. Batyrbek Nurgaliyev, Saltanat Moldirbekova
		7	PERSIAN MYSTICAL POETRY TRADITIONS IN CONTEMPORARY IRANIAN LITERATURE	Assoc. Prof. Dr. Leyla Nasseri, Dr. Amir Hosseini, Parisa Rahmani
		8	FEMINIST REINTERPRETATIONS OF CLASSICAL PERSIAN EPICS IN MODERN IRAN	Prof. Dr. Soraya Emami
		9	LINGUISTIC NATIONALISM IN POST-REVOLUTIONARY IRANIAN CHILDREN'S LITERATURE	Dr. Mehdi Karimi, Neda Safavi, Assoc. Prof. Dr. Babak Azizi

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Mehdi Rahmani**	1	SOCIAL IMPACTS OF URBANIZATION ON FAMILY STRUCTURES IN PAKISTANI CITIES	Prof. Dr. Ahmed Khan, Sara Malik, Bilal Ahmed
		2	GENDER INEQUALITIES IN EDUCATIONAL ATTAINMENT AMONG RURAL PAKISTANI YOUTH	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zahra, Omar Siddiqui
		3	RELIGIOUS IDENTITY AND SOCIAL COHESION IN MULTIETHNIC PAKISTANI COMMUNITIES	Dr. Nadia Parveen, Hassan Raza, Ayesha Noor
		4	MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION CHALLENGES IN KAZAKHSTANI CITIES	Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Temirlan Kairatov
		5	YOUTH UNEMPLOYMENT AND SOCIAL MOBILITY BARRIERS IN POST-SOVIET KAZAKHSTAN	Assis. Prof. Dr. Darya Nurzhanova, Bekzat Sarsenbayev, Aidana Tolegenova
		6	DIGITAL MEDIA CONSUMPTION AND POLITICAL SOCIALIZATION AMONG KAZAKH YOUTH	Dr. Zhanna Iskakova, Erlan Bekturov
		7	URBAN-RURAL DIVIDES IN SOCIAL CAPITAL FORMATION IN CONTEMPORARY IRAN	Assoc. Prof. Dr. Mehdi Rahmani, Soraya Hosseini
		8	GENDER ROLES AND FAMILY DYNAMICS IN POST-REVOLUTIONARY IRANIAN SOCIETY	Prof. Dr. Leila Najafi, Amir Karimi, Neda Safari
		9	ETHNIC MINORITY INTEGRATION AND NATIONAL IDENTITY IN MULTIETHNIC IRAN	Dr. Farhad Azizi, Parisa Mahmoudi
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
19 Aralık / Dec 19, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Prof. Dr. Gulnara Abayeva,**	1	THE IMPACT OF SOCIAL MEDIA USAGE ON ADOLESCENT SELF-ESTEEM AND BODY IMAGE IN PAKISTANI URBAN YOUTH	Prof. Dr. Ayesha Khan, Dr. Bilal Ahmed, Sana Malik
		2	CULTURAL FACTORS INFLUENCING POSTTRAUMATIC STRESS DISORDER SYMPTOMS AMONG FLOOD SURVIVORS IN RURAL PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Faisal Rehman, Zainab Noor, Dr. Omar Siddiqui
		3	WORKPLACE STRESS AND BURNOUT PREVALENCE AMONG FEMALE BANK EMPLOYEES IN KARACHI	Dr. Hina Gul, Muhammad Arif, Assis. Prof. Dr. Rabia Saleem
		4	ETHNIC IDENTITY DEVELOPMENT AND PSYCHOLOGICAL ADJUSTMENT IN MULTICULTURAL KAZAKHSTAN CLASSROOMS	Prof. Dr. Gulnara Abayeva, Yerzhan Tolegenov
		5	PARENTING STYLES AND ACADEMIC MOTIVATION AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN NUR-SULTAN	Dr. Aizhan Kassenova, Nurlan Bekbolatov, Assis. Prof. Dr. Dina Sarsenbayeva
		6	MIGRATION STRESS AND MENTAL HEALTH OUTCOMES IN RURAL-TO-URBAN MIGRANTS IN ALMATY	Assoc. Prof. Dr. Ruslan Zhumatov, Aidana Kurmangaliyeva
		7	COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY EFFICACY FOR GENERALIZED ANXIETY DISORDER IN IRANIAN UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. Mohammad Rezaei, Sara Hosseini, Dr. Ali Karimi
		8	FAMILY DYNAMICS AND DEPRESSION RISK IN ADOLESCENT GIRLS FROM TEHRAN CONSERVATIVE HOUSEHOLDS	Assis. Prof. Dr. Leila Ahmadi, Fatemeh Jafari, Nima Bahrami
		9	MINDFULNESS-BASED INTERVENTIONS FOR WORKPLACE STRESS AMONG IRANIAN NURSES DURING COVID-19	Dr. Zahra Mahmoudi, Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN

YÜZYÜZE

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 10:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Öğr. Üyesi Dilek Balak**	1	PERCEPTIONS OF EARTHQUAKE-SURVIVOR MOTHERS TOWARD LAUGHTER THERAPY	Fehime Dilek NECMİOĞLU Dr. Mine DOĞAN Sümeyye LEVENT Prof. Dr. Gökhan GÖKDERE
		2	A QUALITATIVE STUDY ON THE EXPERIENCES OF MOTHERS AFFECTED BY EARTHQUAKES WITH LAUGHTER THERAPY	Fehime Dilek NECMİOĞLU Doç. Dr. Ayşe BUGATEKİN Doç. Dr. Hacer Ünver KOCA Doç. Dr. Nurhan HALİSDEMİR Prof. Dr. Gökhan GÖKDERE
		3	THE IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON ORGANIZATIONAL CULTURE: NEW DYNAMICS OF ORGANIZATIONAL RESILIENCE	Dr. Öğr. Üyesi Dilek Balak Öğr. Gör. Dr., Münevver Yakut
		4	THE ROLE OF DIGITALIZATION PROCESSES IN THE TRANSFORMATION OF SECURITY CULTURE	Dr. Öğr. Üyesi Dilek Balak Öğr. Gör. Dr., Münevver Yakut
			SINIF ÖĞRETMENİ ADAYLARININ BİR MATEMATİK PROBLEMİNE YÖNELİK ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	İlknur SAVAŞ Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN
		5	CULTURAL VALUES OF SIRNAK	Öğretim Görevlisi Dr. Pınar KAŞ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN

YÜZYÜZE

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN	1	MATEMATİK ÖĞRETMEN ADAYLARININ OKUMA KÜLTÜRÜNE İLİŞKİN BİR İNCELEME	Doktora Öğrencisi Zeynep ÖZAYDIN GÜLTEKİN Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN Doktora Öğrencisi Neslihan DEMİRCİ
		2	MATEMATİK ÖĞRETMENLERİNİN GERÇEKÇİ MATEMATİK EĞİTİMİNE YÖNELİK EYLEMLERİNİN İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Zeynep ÖZAYDIN GÜLTEKİN Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ
		3	MATEMATİKSEL PROBLEM ÇÖZMEDE İNANÇLARI GÜÇLENDİRMEK: ÖĞRETMEN ADAYLARI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA	Doktora Öğrencisi Neslihan DEMİRCİ Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN Doktora Öğrencisi Zeynep ÖZAYDIN GÜLTEKİN
		4	THE INTERACTION BETWEEN BRAIN DOMINANCE PROFILES AND MIND MAPPING PROCESSES: A STUDY WITH PROSPECTIVE MATHEMATICS TEACHERS	Doktora Öğrencisi Neslihan DEMİRCİ Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN
		5	TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ ORTAOKUL MATEMATİK DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMINDA YER ALAN PROGRAMLAR ARASI BİLEŞENLERİN İNCELENMESİ	Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN Lisansüstü Öğrencisi Gülnihal GÜVEN
		6	ÖĞRETMEN ADAYLARININ MATEMATİKSEL PROBLEM ÇÖZME SÜRECİNE İLİŞKİN METAFORİK ALGILARI	Gülnihal GÜVEN Prof. Dr. Çiğdem ARSLAN
		7	OYUN TABANLI ÖĞRENMENİN BEŞİNCİ SINIF ÖĞRENCİLERİNİN İNSAN VE ÇEVRE ÜNİTESİNE YÖNELİK AKADEMİK BAŞARILARI, ÇEVREYE YÖNELİK TUTUMLARI VE AFET BİLİNCİNE ETKİSİ	Özge Nur DİLSİZ Doç. Dr. Emre YILDIZ
		8	ÖĞRENCİLERİN İNGİLİZCE ÖĞRENME MOTİVASYONLARININ İNCELENMESİ: MENTÖR DESTEKLİ ÖĞRETMEN MESLEKİ GELİŞİM PROGRAMI İÇİN ALTYAPI ARAŞTIRMASI	Doç. Dr. Öner Uslu Dr. Nil AYKOL Araş. Gör. Ece ÇOKAY TAŞCIOĞLU Dr. Duygu KANDEMİRCİ BAYIZ Prof. Dr. Mine ALADAĞ
		9	ÖĞRETMENLERİN PSİKOLOJİK İHTİYAÇLARA DUYARLI ÖĞRETİM MESLEKİ GELİŞİM PROGRAMI İÇİN YENİ BİR MENTÖRLÜK YAKLAŞIMI: DİSİPLİNLER ARASI BİR MODEL	Prof. Dr. Mine ALADAĞ Dr. Duygu KANDEMİRCİ BAYIZ Doç. Dr. Öner USLU Araş. Gör. Ece ÇOKAY TAŞCIOĞLU Dr. Nil AYKOL
		10	YAPAY ZEKA DESTEKLİ DEĞERLENDİRME İLE MAARİF MODELİ'NE UYUM: 6. SINIF FEN BİLİMLERİ KLASİK SINAV TAKİP UYGULAMASI GELİŞTİRİLMESİ	Feyza Gülsüm ALAKUŞ Asude Nihan YENİLMEZ Hatice Sinem SÖNMEZ Zehra Nevruz DURAN Dr. Öğretim Üyesi Mehmet Akın Bulut
		11	FEN BİLİMLERİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ YARATICI DRAMA UYGULAMALARI İLE PLASTİK ATIKLARA YÖNELİK FARKINDALIKLARININ GELİŞTİRİLMESİ	Saniye YILDIZ Doç. Dr. Banu AVŞAR ERÜMİT

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN

YÜZYÜZE

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof.Dr.Fatma ESEN**	1	BURSA'DA TOPLU TAŞIMADAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARININ HESAPLANMASI	Prof.Dr.Fatma ESEN Selim KÖS Öğr.Gör. Mehmet Ferhat SARİ
		2	TÜRKİYE'DE HAVA–TOPRAK ORTAMLARINDAKİ PAH VE PCB'LERİN DAĞILIMI VE FUGASİTE ANALİZİ	Öğr.Gör. Mehmet Ferhat SARİ Prof.Dr.Fatma ESEN
		3	DEVELOPMENT, ANALYSIS AND DESIGN OF A WEB-BASED DIGITAL SOLIDARITY PLATFORM: DISASTER ASSISTANCE PLATFORM	Emirhan YILDIZ Lecturer Aslıhan KARATAŞ Yusuf Mehmet Can KARATAŞ
		4	DEVELOPMENT OF A WEB-BASED EDUCATION PLATFORM FOR INTERACTION AND GUIDANCE IN DISTANCE EDUCATION: MENTORUM	Ahmet Ege SANDAL Sena AĞAÇYETİŞTİREN Niyazi Emir AKDEMİR Muhammed Ufuk ASLAN Lecturer Aslıhan KARATAŞ
		5	EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE POLİKAPROLAKTON HİDROKSİAPATİT KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ	Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA
		6	3B BASKI PCL YAPILARININ POLİDOPAMİN KAPLAMA İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ	Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA
		7	VOLUMETRIC ANALYSIS OF HABENULAR NUCLEUS VOLUME AND ASYMMETRY IN PATIENTS WITH MIGRAINE	Öğr. Gör. Dr. Esma GÜL Burcu ASLANTEKİN Doç. Dr. Nermin TEPE Doç. Dr. Emrah ÖZCAN
		8	DROUGHT MONITORING AT MARDİN STATION USING AGGREGATE DROUGHT INDEX UTILIZING NASA POWER DATA	Assoc. Prof. Dr. Emre TOPÇU Asst. Prof. Dr. Fatih KARAÇOR
		9	GÖKÇE FPV KAMİKAZE İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ	İbrahim Berke ÖZSAĞ Selinay COŞKUN Zeynep Nur ÖZKOÇAK Fatih ÇELİK Abdulsametcan SÜRÜCÜ Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA Öğr. Gör. Ogan KESKİN
		10	ŞİMAL YILDIZI ACİL DURUM İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ	Melike ÖZDEMİR Ceren YURTSEVEN Hilal ÜZEL Erdoğan Toprak ONAT Cihan KARABIÇAK Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA Öğr. Gör. Ogan KESKİN
		11	BİTKİLERİN EKSOJEN KOLESTEROL UYGULAMASINA KARŞI ANTİOKSİDATİF YANITLARI	Yunus TOPRAK Prof. Dr. Ökkeş ATICI Ebru GEZGİNCİOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Abdullah KILIÇARSLAN**	1	THE ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TÜRKİYE'S PRIVATE CAR IMPORTS AND THE CURRENT ACCOUNT BALANCE AND FOREIGN TRADE BALANCE USING TRADITIONAL CAUSALITY TESTS	Dr. Öğr. Üyesi Tuğçe OLCAY Dr. Öğretim Üyesi Ömer Faruk ÖZYALÇIN
		2	GOLD MARKET PERFORMANCE OF PROVINCES IN PARTICIPATION BANKING	Assoc. Prof. Abdullah KILIÇARSLAN
		3	SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA PERSPEKTİFİNDEN TÜRKİYE'DE ORMANLIK ALANLARIN KARBON SALINIMINA ETKİSİ: YAPISAL KIRILMA ÇERÇEVESİNDE ARDL SINIR TESTİ İLE BİR ANALİZ	Gözde SORĞUN, Dr. Öğr. Üyesi, Özgür ÖZAYDIN
		4	TÜRKİYE'DE SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ ÜRETİMİ VE İHRACAT PERFORMANSI: ARDL SINIR TESTİ YAKLAŞIMINDAN KANITLAR	İlayda KALAYCI Dr. Öğr. Üyesi, Özgür ÖZAYDIN
		5	DIMENSIONS OF JOB INSECURITY IN PLATFORM WORK	Dr. Rümeysa ÇELİK
		6	THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MISERY INDEX AND ECONOMIC GROWTH: EVIDENCE FROM MIST COUNTRIES	Doç. Dr. Mustafa ZUHAL Doç. Dr. Mehmet AKYOL
		7	THE VALIDITY OF THE LOAD CAPACITY CURVE IN CEE COUNTRIES: AN EMPIRICAL INVESTIGATION	Doç. Dr. Mustafa ZUHAL Doç. Dr. Mehmet AKYOL
		8	THE STRATEGIC ROLE OF LABOR PRODUCTIVITY IN ECONOMIC DEVELOPMENT: A CONCEPTUAL REVIEW	Cihan Serhat KART Dr. Evin MİSER
		9	DEPTH IN QUALITATIVE RESEARCH METHODS: A THEORETICAL EXAMINATION OF MEANING CONSTRUCTION, CONTEXTUALITY, AND INTERPRETIVE ANALYSIS	Cihan Serhat KART Dr. Evin MİSER
		10	WAR ECONOMY PRACTICES DURING THE SECOND WORLD WAR: THE AGRICULTURAL PRODUCTS TAX (1943–1946)	Master's Student, Esma Hazal SARI

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Doç. Dr. Kazım ŞAHİN**	1	ANTİBİOTİC RESİSTANCE İN GRAM-NEGATİVE BACİLLİ: A COMPARATİVE OVERVİEW FROM 2000 TO 2025	Doç. Dr. Kazım ŞAHİN
		2	CURRENT APPROACHES TO SUBSTANCE ADDICTION: A MULTIDISCIPLINARY REVIEW	Doç. Dr. Serdar AYKUT
		3	TELE-REHABILITATION İN PHYSIOTHERAPY	Assist. Prof. Dr. Gönül ELPEZE
		4	MOBILE APPLICATIONS USED İN SCOLIOSIS ASSESSMENT	Assist. Prof. Dr. Gönül ELPEZE
		5	KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİNDE ROY UYUM MODELİ TEMELLİ HEMŞİRELİK BAKIMININ ÖNEMİ	Doç. Dr. Nurcan UZDİL
		6	YAŞLI RUH SAĞLIĞI HİZMETLERİNDE GEROPSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ	Doç. Dr. Nurcan UZDİL
		7	EGZERSİZİN ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİNE ETKİSİ: MEKANİZMALAR VE KLİNİK BULGULAR	Dr. Öğr. Üyesi Suzan Onur Betül Kuzubaş
		8	NÖRODEJENERATİF SÜREÇLERDE OKSİDATİF STRESİN ETKİSİ: PARKİNSON HASTALIĞI	Dr. Öğr. Üyesi Suzan Onur Betül Kuzubaş

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr. AYSEL ARSLAN**	1	THE EFFECTIVENESS OF THE ARCGIS STORYMAPS APPLICATION IN DEVELOPING SPATIAL THINKING SKILLS IN 5TH GRADE STUDENTS	Prof. Dr. Yavuz AKBAŞ Şehnaz GÜNEYSU
		2	ÇOK DİLLİLİK KONULU LİSANSÜSTÜ ÇALIŞMALARDAKİ EĞİLİMLER	Öğr. Gör. Dr. Ali UZUN
		3	MÜKEMMELİYETÇİLİK İLE YARATICILIK ARASINDAKİ İLİŞKİ: BİBLİYOTERAPİDEN ELDE EDİLEN BULGULAR	Uzm. Ersin OMAÇ Emir Asaf TUNCER Muhammed Talha KILIÇ
		4	TÜRKİYE VE LETONYA'DA İLKOKUL EĞİTİMİNİN KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ	Kübra Tutal ŞENGEZER Prof. Dr. Belgin ARSLAN CANSEVER
		5	BİLİNÇLİ FARKINDALIK KAVRAMI ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN DOKÜMAN ANALİZİ İLE İNCELENMESİ	Kübra Tutal ŞENGEZER Prof. Dr. Belgin ARSLAN CANSEVER
		6	2018 VE 2024 YILLARINDA YAYINLANAN BİYOLOJİ DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Merve EROL Prof. Dr. Osman ÇİMEN
		7	8.SINIF T.C. İNKILAP TARIHI VE ATATÜRKÇÜLÜK DERSI ÖĞRETIM PROGRAMININ KAZANIMLARI VE ÜNITE DEĞERLENDIRME SORULARININ HALADYNA TAKSONOMISINE GÖRE ANALIZ EDILMESI VE DEĞERLENDIRMESI	Ersin BÜLBÜL
		8	AKTİF ÖĞRENME TEMELLİ ATÖLYE ÇALIŞMASININ BİYOLOJİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ EKLEMBACAKLILARA YÖNELİK BİYOFOBİK ALGILARINA ETKİSİ	Emre GÜNEŞ Prof. Dr. Osman ÇİMEN
		9	ÖZEL EĞİTİM ÖĞRENCİLERİNDE TEKNOLOJİ KULLANIMININ ÖĞRENME SÜREÇLERİNE ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi ŞENAY AKKAYA Doç. Dr. AYSEL ARSLAN Yüksek Lisans Öğrencisi RUKİYE KAPLAN
		10	ÖĞRETMENLERİN ÖĞRENME VE ÖĞRETME ORTAMLARINDA ÖZ YETERLİK FARKINDALIKLARINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi RUKİYE KAPLAN Doç. Dr. AYSEL ARSLAN Yüksek Lisans Öğrencisi ŞENAY AKKAYA

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GÜNAY**	1	A SAINT WHO LEFT A MARK ON ANKARA'S URBAN LIFE: HACI BAYRÂM-ı VELÎ— SANCTITY AND FUNCTIONALITY FROM THE PERSPECTIVE OF WOMEN VISITORS	Öğretim Görevlisi Sibel İMREN ÖZTÜRK
		2	ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN GAGAVUZ TÜRKLERİNE YÖNELİK DÜŞÜNCELERİNİN İNCELENMESİ	Tezli Yüksek Lisans Öğrencisi Ayhan AKINTÜRK
		3	THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF TURKİSH-IRANIAN RELATIONS AND BILATERAL RELATIONS DURING THE ATATÜRK ERA	Dr. İncilay ÇAKIL
		4	Military Accounting in the Ottoman Empire: Transcription of the Register dated Hijri 891 (Gregorian 1486)	Prof. Dr. Ali APALI Meral İPEK
		5	BAŞVEKİL İSMET PAŞA'NIN GÖZÜYLE MEMLKETİN SİSYASİ VE İÇTİMAİ MESELELERİ (1930)	Dr. Öğretim Üyesi Suat ÖZDAĞ
		6	HALIDE EDIP ADIVAR IN THE RENEWAL PERIOD: MODERNIZATION AND SOCIAL TRANSFORMATION	Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GÜNAY
		7	INVISIBLE POWER: ALTUNCAN HATUN'S IMAGE OF WOMEN IN POLITICS	Dr. Öğr. Üyesi Zeynep GÜNAY
		8	HİTİTLERDE FALCILIK	Halit Yiğit CANSIZ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğretim Üyesi Evin AYDİN YÖNTEM**	1	THE ROLE OF COPARENTING IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PARENTING STRESS AND MARITAL ADJUSTMENT	Psikolog Seher Helin SAKARYA Doç. Dr. Demet VURAL YÜZBAŞI
		2	THE RELATIONSHIP OF PERCEIVED PARENTING STYLES, ALEXITHYMIA, AND INTERPERSONAL RELATIONS WITH EATING ATTITUDES	Psikolog ve Aile Danışmanı Minel VARDAR Doç. Dr. Demet VURAL YÜZBAŞI
		3	NE İSTİHDAMDA NE EĞİTİMDE OLAN (NEET) BİREYLERİN PSİKOLOJİK DAYANIKLILIKLARININ DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	LEYLA ERDAL DOÇ. DR. SEHER MERVE ERUS
		4	ALGILANAN ÇOCUK YETİŞTİRME STİLLERİ İLE FLÖRT ŞİDDETİ ARASINDAKİ İLİŞKİDE REDDEDİLME DUYARLILIĞI VE DUYGU DÜZENLEMENİN ARACI ROLÜ	Dr. Öğretim Üyesi Evin AYDİN YÖNTEM
		5	TRAVMANIN DÜNYA GÖRÜŞÜ VE İNANIŞLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Maged Hussein Dr. Öğr.Üyesi Ayşenur Karahan Yabanigül
		6	BORDERLİNE KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ İLE ROMANTİK İLİŞKİ OBSESYON VE KOMPULSİYONLARI ARASINDAKİ İLİŞKİDE PERSPEKTİF ALMANIN ARACI ROLÜ	Funda Hikmet SUİÇMEZ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Ali İMAMOĞLU**	1	COMPARATİVE ANALYSİS OF ENVİRONMENTAL POLİCİES OF LOCAL GOVERNMENTS: THE CASES OF SAMSUN AND TRABZON	Doç. Dr. Ali İMAMOĞLU
		2	ERİKLİ VİLLAGE LANDS: AN EXAMPLE OF LAND USE CHANGE İN TURKEY	Doç. Dr. Ali İMAMOĞLU
		3	THE ADMİNİSTRATİVE CHANGE PROCESS OF SETTLEMENTS ON THE AMANOS MOUNTAİNS (HATAY PROVİNCİAL BORDER) (1940-2025)	Semiha ÇAY Doç. Dr. Eylül KARAGEL
		4	THE IMPACT OF MIGRATION FOLLOWING THE FEBRUARY 6, 2023 EARTHQUAKE ON THE POPULATION OF ARSUZ DISTRICT (HATAY)	Doç. Dr. Eylül KARAGEL
		5	2010-2015 YILLARI ARASINDA YAŞANAN ARAP BAHARI VE ARAP BAHARI'NIN SİYASİ ETKİLERİNİN DEMOKRASİ EĞİTİMİ AÇISINDAN İNCELENMESİ	Nihal UZUN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Rajesh Kumar,**	1	DIGITAL DEMOCRACY AND ELECTORAL PARTICIPATION PATTERNS IN INDIA'S 2024 GENERAL ELECTIONS	Prof. Dr. Rajesh Kumar,
		2	FEDERALISM CHALLENGES AND CENTER-STATE FISCAL RELATIONS UNDER INDIA'S GST REGIME	Assoc. Prof. Dr. Neha Gupta, Vikram Rao
		3	CASTE POLITICS EVOLUTION AND SOCIAL JUSTICE POLICIES IN CONTEMPORARY BIHAR ELECTIONS	Dr. Anjali Patel, Rohan Desai, Meera Joshi
		4	TAIWAN-CHINA CROSS-STRAIT RELATIONS AND US STRATEGIC AMBIGUITY IN INDO-PACIFIC SECURITY	Prof. Dr. Wei-Ling Chen, Dr. Ming-Hsuan Lin
		5	DEMOCRATIC CONSOLIDATION AND YOUTH POLITICAL PARTICIPATION IN TAIWAN'S SUNFLOWER MOVEMENT LEGACY	Assoc. Prof. Dr. Jia-Hao Wang, Yi-Ting Huang
		6	ECONOMIC NATIONALISM AND TRADE POLICY SHIFTS IN TAIWAN'S POST-COVID SUPPLY CHAIN REALIGNMENT	Dr. Chun-Mei Tsai, Hao-Ran Liu, Assis. Prof. Dr. Pei-Yu Chen
		7	ASEAN-CENTRISM AND SINGAPORE'S MIDDLE POWER STRATEGY IN SOUTH CHINA SEA DISPUTES	Prof. Dr. Li Wei, Dr. Sarah Tan, Marcus Lim
		8	IMMIGRATION POLICY PARADOXES AND NATIONAL IDENTITY CONSTRUCTION IN MULTICULTURAL SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Kenneth Wong, Aisha Rahman
		9	CLIMATE DIPLOMACY LEADERSHIP AND CARBON TAX INNOVATIONS IN SINGAPORE'S GREEN TRANSITION	Dr. Mei-Ling Ng, Prof. Dr. Terence Tan, Jia Hui Low
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Meera Nair**	1	INDO-PACIFIC STRATEGIC ALLIANCES AND THEIR IMPLICATIONS FOR REGIONAL SECURITY ARCHITECTURE	Prof. Dr. Rajesh Sharma,
		2	CHINA'S BELT AND ROAD INITIATIVE AND SOUTH ASIAN GEOPOLITICAL DYNAMICS	Assoc. Prof. Dr. Meera Nair, Vikram Joshi
		3	INDIA-US STRATEGIC PARTNERSHIP EVOLUTION AMID GREAT POWER COMPETITION	Dr. Anjali Gupta, Rohan Mehra, Assis. Prof. Dr. Sanjay Kapoor
		4	TAIWAN'S CROSS-STRAIT RELATIONS STRATEGY UNDER US-CHINA STRATEGIC COMPETITION	Prof. Dr. Wei-Ling Chen, Dr. Ming-Hsuan Lin
		5	ASEAN CENTRALITY AND TAIWAN'S REGIONAL INTEGRATION STRATEGIES	Assoc. Prof. Dr. Hsin-Yi Huang, Jia-Wei Tseng
		6	TAIWAN-JAPAN SECURITY COOPERATION IN EAST ASIAN MARITIME DOMAIN	Dr. Chun-Mei Wang, Assis. Prof. Dr. Hao-Ran Liu, Pei-Chun Yang
		7	SOUTH CHINA SEA DISPUTES AND SINGAPORE'S BALANCING STRATEGY IN ASEAN	Prof. Dr. Li Wei Tan, Dr. Sarah Ng
		8	US-CHINA TECH RIVALRY AND SINGAPORE'S SEMICONDUCTOR ECOSYSTEM POSITIONING	Assoc. Prof. Dr. Kenneth Lim, Michelle Tan
		9	ASEAN DIGITAL ECONOMY FRAMEWORK AND SINGAPORE'S CYBER DIPLOMACY LEADERSHIP	Dr. Evelyn Goh, Assis. Prof. Dr. Benjamin Ho, Jia Hui Lim
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Elena Wong,**	1	CONSTITUTIONAL CHALLENGES TO DIGITAL PRIVACY RIGHTS IN THE POST-AADHAAR ERA OF INDIA	Prof. Dr. Rajesh Sharma, Dr. Priya Gupta, Arjun Mehra
		2	GENDER JUSTICE AND PROPERTY INHERITANCE LAWS UNDER HINDU SUCCESSION AMENDMENTS	Assoc. Prof. Dr. Meera Nair, Vikram Singh, Dr. Lakshmi Reddy
		3	ONE BELT ONE ROAD INITIATIVE'S LEGAL IMPLICATIONS FOR SOVEREIGN DEBT SUSTAINABILITY	Prof. Dr. Li Wei, Zhang Min, Dr. Chen Hao
		4	INTELLECTUAL PROPERTY ENFORCEMENT CHALLENGES IN CHINA'S DIGITAL ECONOMY TRANSITION	Assoc. Prof. Dr. Wang Jing, Liu Yang
		5	ENVIRONMENTAL PUBLIC INTEREST LITIGATION UNDER CHINA'S NEW ECOLOGICAL CIVILIZATION FRAMEWORK	Dr. Xu Mei, Huang Lei, Assis. Prof. Dr. Zhou Peng
		6	ASEAN ECONOMIC COMMUNITY'S DISPUTE RESOLUTION MECHANISMS: SINGAPORE PERSPECTIVE	Prof. Dr. Tan Wei Ling, Dr. Marcus Lim, Sophia Chen
		7	BLOCKCHAIN REGULATION AND SMART CONTRACT ENFORCEABILITY IN SINGAPORE'S FINTECH ECOSYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Elena Wong, Benjamin Tan
		8	CLIMATE CHANGE LITIGATION STRATEGIES UNDER SINGAPORE'S CARBON TAX REGIME	Dr. Rachel Lim, Assoc. Prof. Dr. Kevin Tan, Natalie Fong

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Nataliya Bohdanova,**	1	POST-WAR RECONSTRUCTION IN UKRAINIAN CONTEMPORARY PAINTING: SYMBOLISM OF RESILIENCE AND MEMORY	Prof. Dr. Olena Kovalenko, Dr. Myroslav Petrenko, Iryna Sydorenko
		2	TRADITIONAL EMBROIDERY MOTIFS IN MODERN UKRAINIAN FASHION DESIGN: REVIVAL AND INNOVATION	Assoc. Prof. Dr. Nataliya Bohdanova, Viktoriya Melnyk
		3	FOLK ICONOGRAPHY IN UKRAINIAN CONTEMPORARY SCULPTURE: MATERIALITY AND SPIRITUALITY	Dr. Andriy Shevchenko, Olha Kryshtop
		4	IMPERIAL PORCELAIN INFLUENCES ON CONTEMPORARY CHINESE CERAMIC ART PRACTICES	Prof. Dr. Li Wei, Zhang Mei, Dr. Chen Hao
		5	DIGITAL INK PAINTING: NEO-TRADITIONAL CHINESE BRUSHWORK IN THE CYBER AGE	Assoc. Prof. Dr. Wang Jing, Liu Yang
		6	URBAN CALLIGRAPHY INSTALLATIONS: SOCIAL CRITIQUE THROUGH CONTEMPORARY CHINESE SCRIPT	Dr. Zhao Min, Xu Rui, Assis. Prof. Dr. Guo Peng
		7	CARPET WEAVING TRADITIONS AND MODERN AZERBAIJAN TEXTILE DESIGN EVOLUTION	Prof. Dr. Sevinj Aliyeva, Dr. Elnur Mammadov, Leyla Huseynova
		8	MINIATURE PAINTING REVIVAL IN CONTEMPORARY AZERBAIJAN ARTISTIC PRACTICE	Assoc. Prof. Dr. Aysel Karimova, Rashad Gurbanov
		9	ARCHITECTURAL ORNAMENTATION IN MODERN AZERBAIJAN PUBLIC SPACE DESIGN	Dr. Nigar Rahimova, Farid Hasanov, Assis. Prof. Dr. Tarana Mammadova

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Parisa Bahrami,**	1	THRACIAN BURIAL MOUNDS AND THEIR SYMBOLISM IN ANCIENT BULGARIAN TERRITORY	Dr. Maria Petrova, Stefan Ivanov
		2	ROMAN MILITARY CAMPS AND SETTLEMENT PATTERNS ALONG THE DANUBE IN BULGARIA	Assoc. Prof. Dr. Elena Georgieva, Krasimir Todorov
		3	NEOLITHIC SETTLEMENTS AND CERAMIC TRADITIONS IN THE STRUMA VALLEY, BULGARIA	Dr. Nikolai Stoyanov, Assoc. Prof. Dr. Vesselka Katsarova, Dimitar Angelov
		4	ELAMITE TEMPLE ARCHITECTURE AND RELIGIOUS PRACTICES IN ANCIENT SOUTHWEST IRAN	Prof. Dr. Reza Azizi, Soraya Mahmoudi
		5	ACHEMENID ROYAL ROADS AND POST STATIONS IN PERSIAN EMPIRE TERRITORY	Dr. Parisa Bahrami, Assoc. Prof. Dr. Kaveh Farrokh, Amir Hosseini
		6	SASANIAN ROCK RELIEFS AND IDEOLOGICAL PROPAGANDA IN IRANIAN HIGHLANDS	Assis. Prof. Dr. Leila Najafi, Dr. Farhad Golshan
		7	PARTHIAN CITADELS AND FORTIFICATION SYSTEMS IN NORTHEAST IRAN	Mehdi Karimi, Prof. Dr. Shahin Aghaee
		8	BRONZE AGE JIROFT CIVILIZATION AND PROTO-ELAMITE WRITING IN EASTERN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Yousef Madadi, Dr. Nazanin Rahimi, Behnam Rafiei

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Meera Desai,**	1	INTEGRATING CONFUCIAN VALUES INTO MODERN CHINESE STEM EDUCATION CURRICULA FOR ENHANCED STUDENT MOTIVATION	Prof. Dr. Li Wei, Zhang Mei, Dr. Chen Hao
		2	DIGITAL GAMIFICATION STRATEGIES FOR IMPROVING MATHEMATICS LEARNING OUTCOMES IN RURAL CHINESE PRIMARY SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Wang Jing, Liu Yang, Xu Fei
		3	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT THROUGH MENTORSHIP PROGRAMS IN CHINESE VOCATIONAL COLLEGES	Dr. Zhang Li, Huang Wei, Assis. Prof. Dr. Sun Ming
		4	MULTICULTURAL CLASSROOM MANAGEMENT STRATEGIES FOR EXPATRIATE STUDENTS IN QATARI INTERNATIONAL SCHOOLS	Prof. Dr. Ahmed Al-Mansoori, Fatima Hassan
		5	NQUIRY-BASED SCIENCE TEACHING MODELS ADAPTED FOR QATARI SECONDARY EDUCATION CONTEXTS	Dr. Noor Khalid, Assoc. Prof. Dr. Salem Rashid
		6	BLENDED LEARNING IMPLEMENTATION CHALLENGES AND SOLUTIONS IN RURAL INDIAN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS	Prof. Dr. Rajesh Kumar, Dr. Priya Sharma,
		7	TEACHER EDUCATION REFORMS INCORPORATING SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN INDIAN UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Meera Desai,
		8	INCLUSIVE EDUCATION PRACTICES FOR CHILDREN WITH DISABILITIES IN URBAN INDIAN PRIMARY SCHOOLS	Dr. Anjali Rao, Sanjay Gupta, Assis. Prof. Dr. Neha Kapoor

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Sahar Mohammadi**	1	SIMULATING FUNDAMENTAL PROCESSES OF HUMAN CONSCIOUSNESS	Dr. Leila Haddad
		2	EXPLORING THE ROLE OF PSYCHOSOCIAL FACTORS IN ADDICTION RECOVERY: INSIGHTS FROM INDIA	Dr. Priya Mehta Dr. Arjun Desai
		3	IMPROVING ORGANIZATIONAL JUSTICE IN INCENTIVE ALLOCATION WITHIN THAILAND'S PUBLIC SECTOR	Assoc. Prof. Dr. Somchai Rattanapong
		4	GENDER DIFFERENCES IN AUTOBIOGRAPHICAL MEMORY AND ADAPTIVE RECOLLECTION STRATEGIES	Dr. Ainhoa Etxebarria Dr. Rajiv Kumar
		5	THE IMPACT OF CULTURAL ANXIETY ON INTERNATIONAL STUDENTS AT WUHAN UNIVERSITY	Dr. Farid Al-Mansouri Dr. Li Na
		6	ADDRESSING RE-VICTIMIZATION: PSYCHOLOGICAL AND LEGAL PERSPECTIVES	Prof. Dr. Helena Novak
		7	NARRATIVE THEORY AND ORGANIZATIONAL CHANGE: CASE STUDIES OF MERGERS AND ACQUISITIONS	Dr. Omar Al-Farouq
		8	COMPARATIVE ANALYSIS OF ATTACHMENT PATTERNS IN NURSERY-RAISED AND FAMILY-RAISED CHILDREN IN IRAN	Assoc. Prof. Dr. Sahar Mohammadi

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Giulia Bianchi**	1	TRUST DYNAMICS AND LEARNING BEHAVIORS IN VIRTUAL TEAM ENVIRONMENTS	Prof. Dr. Amina Yusuf Dr. Samuel Okeke
		2	ENHANCED AUTOMATED DIFFERENTIATION BETWEEN ALCOHOL DEPENDENCE AND SOBRIETY	Dr. Farid Rahman
		3	RHETORICAL STRATEGIES IN COGNITIVE SCIENCE DISCOURSE: ANALYSIS OF COGNITIVE NEUROSCIENCES (2004) IN SCIENTIFIC COMMUNICATION	Lucia Moretti Assoc. Prof. Dr. Giulia Bianchi
		4	MORAL REASONING AND BEHAVIORAL PATTERNS IN ADULTHOOD	Carlos Mendoza Elena García
		5	INVESTIGATIONS INTO THE ROLE OF EMOTIONS IN MORAL DECISION-MAKING	Dr. Ahmed El-Sayed
		6	EFFECTS OF PROBABILITY AND INSTRUCTION ON SYLLOGISTIC CONDITIONAL REASONING	Ivan Dimitrov
		7	ANALYZING KANJI CHARACTER RECOGNITION PROCESSES USING EEG SIGNALS	Hiroto Tanaka Kenji Nakamura
		8	INNOVATIVE APPROACHES TO TEACHING INTRODUCTORY STATISTICS IN HEALTH, SOCIAL, AND BEHAVIORAL SCIENCES: HISTORICAL PERSPECTIVES AND JUSTIFICATIONS	Dr. Maria Rossi

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Doç. Dr. Gülay DEMİR**	1	TÜRKİYE'DE SU AYAK İZİ BİLEŞENLERİNİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME YAKLAŞIMI İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Doç. Dr. Gülay DEMİR
		2	DEPREM KAYNAKLI TAŞINMAZ DEĞERLEME KARARLARI: ÇOK KRITERLI KARAR VERME UYGULAMALARININ BIBLIYOMETRIK İNCELEMESI	Ömer ARSLAN Doç. Dr. Gülay DEMİR
		3	THERMAL HEALTH TOURISM DESTINATION IMAGE: AN APPLICATION ON HEALTH MINISTRY-LICENSED SPA FACILITIES	Doç. Dr. Fuat YALMAN Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ
		4	THE EFFECT OF PERCEIVED VALUE IN HEALTH TRAVEL ON THE INTENTION TO REVISIT: THE CASE OF TURKEY	Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ Doç. Dr. Fuat YALMAN
		5	SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNDE FİNANSAL OKURYAZARLIK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ	Doç. Dr. Okan KOÇ Öğr. Gör. Özgür YILMAZ
		6	SAĞLIK OKURYAZARLIĞININ ALT BOYUTLARI AÇISINDAN SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNİN YETERLİKLERİ	Doç. Dr. Okan KOÇ Öğr. Gör. Özgür YILMAZ
		7	A CROSS-SECTIONAL STUDY ON DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LEVEL OF EMOTIONAL CONTAGION AND THE LEVEL OF COMPASSION OF HEALTHCARE WORKERS	Dr. Öğr. Üyesi Gülhan GÖK Fzt. Elif ÖÇAL KİNAY Dyt. Tuğçe KAPLAN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof.Dr.Ramazan İLGÜN**	1	COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE FEMALE GENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS	Prof.Dr.Ramazan İLGÜN Doç.Dr.Caner ÖZTÜRK
		2	COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE MALE UROGENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS	Prof.Dr.Ramazan İLGÜN Doç.Dr.Caner ÖZTÜRK
		3	CURRENT STATUS OF CATTLE AND SMALL RUMINANT HUSBANDRY IN THE EASTERN AND SOUTHEASTERN ANATOLIA REGIONS AND STRATEGIC APPROACHES FOR THE FUTURE	Öğr. Gör. Rıdvan BAYRAM
		4	INTERACTION OF ARTIFICIAL SEEDING EFFICIENCY WITH CLIMATIC RAINFALL IRREGULARITY AND WATER USE STRATEGIES	Öğr. Gör. Rıdvan BAYRAM
		5	THREE-DAY SICKNESS; BOVINE EPHEMERAL FEVER	Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
		6	PUBLIC HEALTH IMPACTS of the COCURRENT OCCURRENCE of FOOT and MOUTH DISEASE and BOVINE THREE DAY SICKNESS	Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Arş. Gör. Dr. Burak ATİK**	1	CHARACTERISTIC EFFECTS OF AXIAL AND TRANSVERSE ORIENTED FIBERS IN CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES	MSc, Koray BALTALI Doç. Dr. S. Bahar BAŞTÜRK
		2	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF IRON POWDER FILLING IN HONEYCOMB STRUCTURED COMPOSITE MATERIALS	Doç. Dr. İlyas KARTAL Önder KORKMAZ
		3	OPTIMIZATION OF MACHINING FIXTURE DESIGN FOR MILLING OPERATION OF DUCTILE CAST IRON SUSPENSION ARM COMPONENT	Doç. Dr. İlyas KARTAL Mustafa Burak TERZİOĞLU
		4	DÜŞÜK EMİSYONLU (LOW-E) KAPLAMALI CAMLARIN TERMAL PERFORMANSI VE U-DEĞERİ OPTİMİZASYONU	Cihan Özkul Doç. Dr. Canan URAZ
		5	ENHANCEMENT OF THE ELECTROCHEMICAL CORROSION PERFORMANCE OF Al6061 ALLOY COATED WITH Si-BASED CERAMICS BY ELECTROPHORETIC DEPOSITION	Arş. Gör. Dr. Burak ATİK

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Üyesi, Nurullah ORUÇ**	1	SİİRT SIBYÂN SCHOOLS DURİNG THE OTTOMAN PERİOD: EDUCATİON AND CURRİCULUM	Doç. Dr. Sedat Akay, Cemil Baykan,
		2	OTTOMAN PERIOD SIIRT IPTIDAI SCHOOLS: CURRICULUM AND TEACHERS OF BASIC ISLAMIC SCIENCES	Doç. Dr. Sedat Akay, Cemil Baykan,
		3	ZÜHEYR B. EBÎ SÜLMÂ'NIN MUALLAKASINDA CİNAS SANATININ KULLANIMI VE İŞLEVİ	Dr. Öğr. Üyesi, Nurullah ORUÇ
		4	İBNÜ'Z-ZÂGÛNÎ'NİN EŞ'ARÎLİK ELEŞTİRİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Sümeyye Koç
		5		
		6		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Amaneh Manafidizaji**	1	ÇOCUK GELİŞİMİ ÖĞRENCİLERİNİN ALAN UYGULAMALARI DERSİNE YÖNELİK GÖRÜŞLERİ: NİTEL BİR ÇALIŞMA	Yasemin İBİŞ
		2	HELİKOPTER ANABABALIK VE ÖZERKLİK DESTEKLEYİCİ DAVRANIŞLAR İLE PSİKOLOJİK SAĞLAMLILIK ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ	Kübra ALAGÜNEY Çocuk Gelişimci Şiranur ÖZTÜRK Çocuk Gelişimci Rümeysa BAŞAR Prof. Dr.Aygen ÇAKMAK
		3	DİJİTAL EBEVEYNLİK VE ÇOCUK	Doç. Dr. Rukiye ARSLAN
		4	AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN PRESCHOOL CHILDREN'S EMOTIONAL EXPRESSION SKILLS AND THEIR PARENTS' ATTITUDES	Çocuk Gelişimci Sena ÜNAL Çocuk Gelişimci Yağmur Ezgi DOST Doç. Dr. Seda SAKARYA
		5	THE IMPORTANCE OF NATURE EXPERIENCES IN EARLY CHILDHOOD	Assoc. Prof. Dr. Seda SAKARYA Res. Asst. Yavuz Selim KARASU
		6	THE EXAMINATION OF GENDER SOCIALIZATION BEHAVIORS OF PARENTS WITH CHILDREN ATTENDING PRESCHOOL EDUCATION	Yüksek Lisans Öğr. Melda Ecem ESER Prof. Dr. Aygen ÇAKMAK
		7	DİJİTAL ÇAĞDA ÇOCUKLARIN SOSYAL GELİŞİMİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Ebru BOĞA BARAN
		8	ÖZEL GEREKSİNİMLİ BİREYLERİN EBEVEYNLERİNİN DEPREME İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ	Öğrt. Sümeyye ARAS KIRLANGIÇ Doç. Dr. Müzeyyen Eldeniz Çetin

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇETİNDEMİR**	1	AN EVALUATION OF THE MULTIDIMENSIONAL STRUCTURE OF SPORTS SPONSORSHIP WITHIN THE FRAMEWORK OF SYSTEM, PERFORMANCE, ECONOMY, AND CONSUMER BEHAVIOR	Burak YALÇIN Doç. Dr. Mehmet İMAMOĞLU
		2	A BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF POSTGRADUATE THESES IN THE FIELD OF SPORTS AND MARKETING IN TÜRKİYE	Burak YALÇIN Doç. Dr. Mehmet İMAMOĞLU
		3	UEFA ŞAMPİYONLAR LİGİ 2024-2025 SEZONUNDA EV SAHİBİ OLMA AVANTAJI	Doç. Dr. Erdal ARI Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇETİNDEMİR
		4	UEFA ŞAMPİYONLAR LİGİ 2024-2025 SEZONUNDA İLK GOL AVANTAJI	Doç. Dr. Erdal ARI Dr. Öğr. Üyesi Abdullah ÇETİNDEMİR
		5	VIOLENCE IN TEAM SPORTS: QUALITATIVE ANALYSIS OF THE EXPERIENCES OF FEMALE ATHLETES PLAYING FOOTBALL, BASKETBALL, AND HANDBALL	Selen MEMİŞ Dr. Muhammet KUSAN
		6	EXPERIENCES OF FEMALE COMBAT ATHLETES IN MALE-DOMINATED SPORTS FIELDS: A QUALITATIVE STUDY ON GENDER PERCEPTIONS	Ece KELEKLİ Dr. Muhammet KUSAN
		7	THE EFFECT OF COMPETITIVE RUMINATION ON SPORT MOTIVATION IN INDIVIDUAL AND TEAM ATHLETES	Atakan AŞKIN Mustafa YILDIRIM Dr. Muhammet KUSAN Prof. Dr. Soner ÇANKAYA
		8	THE EFFECT OF CAREER AWARENESS ON LEISURE TIME MANAGEMENT AMONG STUDENTS OF THE FACULTY OF SPORT SCIENCES	Emirhan BULU Dr. Muhammet KUSAN Prof. Dr. Soner ÇANKAYA

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Zahra Bendaoud,**	1	HEALTH IMPACTS OF URBAN AIR POLLUTION ON RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN AZERBAIJAN CITIES	Prof. Dr. Leyla Huseynova, Dr. Elvin Aliyev, Nigar Mammadova
		2	NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR REDUCING CHILDHOOD MALNUTRITION RATES IN RURAL AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Kamal Hasanov, Aysel Ibrahimova, Farid Gurbanov
		3	ADVANCES IN TELEMEDICINE FOR CARDIOVASCULAR DISEASE MANAGEMENT IN IRANIAN POPULATIONS	Dr. Sara Mohammadi, Assoc. Prof. Dr. Reza Jafari, Fatemeh Karimi
		4	GESTATIONAL DIABETES SCREENING AND MANAGEMENT PROTOCOLS IN IRANIAN WOMEN	Dr. Mina Hosseini, Ali Rezaei, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Karimi
		5	PREVALENCE AND RISK FACTORS OF HYPERTENSION IN ALGERIAN URBAN ADULTS	Prof. Dr. Zahra Bendaoud, Yassine Amrani
		6	ROLE OF VACCINATION CAMPAIGNS IN PREVENTING INFECTIOUS DISEASE OUTBREAKS IN ALGERIA	Dr. Samir Boukhari, Samia Haddad, Assoc. Prof. Dr. Farid Benali

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Lounis,**	1	IMPACT OF MIDWIFERY-LED CARE ON MATERNAL OUTCOMES IN RURAL NIGERIAN COMMUNITIES	Prof. Dr. Fatima Okonjo, Dr. Chidi Nwosu,
		2	EFFECTIVENESS OF SIMULATION-BASED TRAINING IN IMPROVING MIDWIVES' EMERGENCY SKILLS	Assoc. Prof. Dr. Ngozi Eze, Temitope Adebayo
		3	MATERNAL NUTRITION COUNSELING BY MIDWIVES AND ITS EFFECT ON GESTATIONAL WEIGHT GAIN	Dr. Aidana Kairbekova, Zhanna Tolegenova, Nursultan Abildayev
		4	MIDWIVES' ROLE IN PROMOTING VAGINAL BIRTH AFTER CESAREAN IN KAZAKHSTAN	Assis. Prof. Dr. Gulnara Sarsenova, Madina Zhumagaliyeva
		5	PREVALENCE OF POSTPARTUM DEPRESSION AND MIDWIFERY SCREENING PROTOCOLS IN ALGERIA	Prof. Dr. Amina Zahraoui, Dr. Karim Belhadj, Souad Mekki
		6	EVALUATION OF MIDWIFERY HOME VISITATION PROGRAMS FOR NEONATAL MORTALITY REDUCTION	Assoc. Prof. Dr. Nadia Lounis, Youssef Hadjadj
		7	INTRAPARTUM CONTINUOUS SUPPORT BY MIDWIVES AND LABOR OUTCOMES IN RUSSIAN MATERNITIES	Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Elena Kuznetsova, Olga Smirnova
		8	TELE-MIDWIFERY IMPLEMENTATION FOR RURAL ACCESS IN SIBERIAN REGIONS	Dr. Natalia Volkov, Assis. Prof. Dr. Svetlana Morozova
		9	BREASTFEEDING SUPPORT PROTOCOLS BY MIDWIVES AND INFANT GROWTH TRAJECTORIES	Assoc. Prof. Dr. Anna Ivanova, Maria Petrochenkova, Dr. Tatiana Sokolova
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Nadia Bouzid,**	1	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL MESOPOROUS SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Dr. Fatima Zerhouni, Karim Hadji
		2	GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING ALGERIAN DATE PALM EXTRACTS AS REDUCING AGENTS	Assoc. Prof. Dr. Nadia Bouzid, Yassine Amrane, Samia Lounis
		3	CATALYTIC PERFORMANCE OF COPPER-BASED METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CO2 REDUCTION	Dr. Mohamed El-Sayed, Assoc. Prof. Dr. Hala Hassan
		4	DEVELOPMENT OF CHITOSAN-BASED ADSORBENTS FOR HEAVY METAL REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS	Fatma Abdel Rahman, Prof. Dr. Ahmed Khalil
		5	SYNTHESIS OF NOVEL SCHIFF BASE COMPLEXES FOR ANTICANCER ACTIVITY EVALUATION	Dr. Aigerim Sarsenova, Nurlan Tulegenov
		6	ELECTROCHEMICAL SENSORS BASED ON CARBON NANOTUBES FOR PESTICIDE DETECTION	Assis. Prof. Dr. Zhuldyz Yermekova, Bekzat Abildin
		7	HIGHLY EFFICIENT RUTHENIUM COMPLEXES FOR OLEFIN METATHESIS CATALYSIS	Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Maria Sokolova
		8	PHOTODYNAMIC THERAPY AGENTS BASED ON PORPHYRIN-FULLERENE DYADS	Assoc. Prof. Dr. Alexei Kuznetsov, Elena Volkova, Dmitry Ivanov
		9	SUPRAMOLECULAR POLYMERIZATION OF PILLARARENE-BASED ROTAXANES FOR GAS STORAGE	Dr. Sergei Volkov, Prof. Dr. Olga Fedorova, Nikita Smirnov
		10		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Harthi,**	1	DEVELOPMENT OF NANO-COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS IN OIL INDUSTRY	Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Dr. Fatima Al-Busaidi
		2	BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR SUSTAINABLE PACKAGING SOLUTIONS	Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Harthi, Sara Al-Mahrooqi
		3	SYNTHESIS OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR EFFICIENT CARBON DIOXIDE CAPTURE	Dr. Reza Ghasemi, Assoc. Prof. Dr. Maryam Shirazi
		4	NANOSTRUCTURED TITANIUM DIOXIDE COATINGS FOR PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION	Hassan Najafi, Dr. Parisa Hosseini
		5	ADVANCED CERAMIC MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE TURBINE APPLICATIONS	Prof. Dr. Ali Karimi, Setareh Mahmoudi
		6	FUNCTIONALIZED GRAPHENE AEROGELS FOR ENERGY STORAGE ELECTRODES	Dr. Behnam Jalali, Neda Rahimi
		7	HIGH-ENTROPY ALLOYS FOR CORROSION-RESISTANT MARINE APPLICATIONS	Assis. Prof. Dr. Saeed Amiri, Dr. Elham Salehi
		8	MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS FOR VIBRATION DAMPING SYSTEMS	Prof. Dr. Dmitry Ivanov, Anastasia Petrova

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Chukwudi Nwosu,**	1	EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN ROMANIAN POULTRY FARMS	Prof. Dr. Mihai Popescu, Dr. Elena Vasilescu, Andrei Radu
		2	PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN ROMANIAN SHEEP	Assoc. Prof. Dr. Sorin Ionel, Maria Dragomir
		3	DIAGNOSTIC CHALLENGES IN AFRICAN SWINE FEVER CONTROL IN ROMANIAN WILDLIFE	Dr. Catalin Preda, Ioana Stoica, Razvan Marin
		4	MASTITIS PATHOGEN PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ROMANIAN DAIRY COWS	Assis. Prof. Dr. Laurentiu Barbu, Dr. Andreea Popa
		5	ANTHELMINTIC EFFICACY AGAINST HAEMONCHUS CONTORTUS IN NIGERIAN GOATS	Dr. Chukwudi Nwosu,
		6	NEWCASTLE DISEASE VIRUS GENOTYPES CIRCULATING IN NIGERIAN POULTRY	Dr. Fatima Yusuf, Emeka Okonkwo,
		7	TICK-BORNE HEMOPARASITES IN NIGERIAN CATTLE HERDS	Assoc. Prof. Dr. Olusegun Adebayo, Tunde Afolabi
		8	ECTOPARASITE MANAGEMENT STRATEGIES IN TAJIKISTAN SHEEP FLOCKS	Prof. Dr. Farrukh Saidov, Dilnoza Rahimova
		9	BRUCELLA MELITENSIS PREVALENCE IN TAJIKISTAN DAIRY GOATS	Dr. Manuchehr Nazarov, Gulnora Toshmatova, Sherali Ubaidulloev

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Budi Santoso,**	1	NOVEL NANOPARTICLE FORMULATIONS FOR ENHANCED BIOAVAILABILITY OF POORLY SOLUBLE ANTIFUNGAL DRUGS	Prof. Dr. Ion Lupu, Dr. Maria Cebotari, Andrei Popa
		2	PHARMACOGNOSTIC EVALUATION AND STANDARDIZATION OF ENDANGERED MOLDOVAN MEDICINAL PLANTS	Assoc. Prof. Dr. Elena Rusu, Victor Melnic, Dr. Olga Straistari
		3	DEVELOPMENT OF ORALLY DISSOLVATING FILMS FOR PEDIATRIC ANTIHYPERTENSIVE THERAPY	Dr. Sergiu Costache, Natalia Gherasim, Prof. Dr. Valentina Vovc
		4	ETHANOBOTANICAL SURVEY AND ANTIMALARIAL ACTIVITY SCREENING OF INDONESIAN RAINFOREST PLANTS	Dr. Budi Santoso, Rina Wijaya, Assoc. Prof. Dr. Dewi Sartika
		5	FORMULATION AND EVALUATION OF MICROEMULSION-BASED TRANSDERMAL NICOTINE DELIVERY SYSTEMS	Prof. Dr. Agus Widodo, Siti Nurhaliza
		6	BIOANALYSIS AND PHARMACOKINETIC MODELING OF TETRAHYDROCURCUMIN IN RATS	Dr. Prima Aulia, Hendra Susanto, Assoc. Prof. Dr. Lia Dwi
		7	SYNTHESIS AND ANTIBACTERIAL EVALUATION OF NOVEL QUINOLINE-CARBAMATE HYBRIDS	Prof. Dr. Dimitrios Pappas, Dr. Eleni Markou, Kostas Theodorou
		8	LIPOSOMAL CO-DELIVERY OF DOXORUBICIN AND MRP1 SIRNA FOR OVARIAN CANCER THERAPY	Assoc. Prof. Dr. Sophia Kleanthous, Dr. Nikos Stavrou, Maria Liali

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Yacine Hadji**	1	DESIGN AND OPTIMIZATION OF GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR 5G BASE STATIONS	Prof. Dr. Ali Rezaei, Dr. Sara Mahmoudi, Hamid Karimi
		2	MACHINE LEARNING ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR INDUSTRIAL IoT SENSOR NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Mina Hosseini, Farzad Jalali, Dr. Leila Ahmadi
		3	DEVELOPMENT OF FLEXIBLE ORGANIC THIN-FILM TRANSISTORS FOR WEARABLE HEALTH MONITORING	Dr. Amir Ghasemi, Nazanin Tavakoli
		4	OPTIMIZATION OF MPPT ALGORITHMS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER PARTIAL SHADING	Prof. Dr. Karim Belhocine, Dr. Samir Djarallah, Amina Zerhouni
		5	DESIGN OF RECONFIGURABLE MIMO ANTENNAS FOR 5G MILLIMETER-WAVE HANDSETS	Assoc. Prof. Dr. Yacine Hadji, Mehdi Lounis
		6	FAULT-TOLERANT CONTROL STRATEGIES FOR DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS IN WIND FARMS	Dr. Fatima Bouziane, Nassim Cherif, Assis. Prof. Dr. Reda Mansouri
		7	AI-OPTIMIZED ENERGY MANAGEMENT FOR SMART GRID MICROGRIDS IN ARID CLIMATES	Prof. Dr. Salim Al-Harthi, Dr. Nadia Al-Maskari, Khalid Al-Belushi
		8	LOW-POWER VLSI ARCHITECTURE FOR EDGE AI IN INDUSTRIAL IoT APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Al-Rashdi, Omar Al-Hinai, Dr. Mariam Al-Kindi

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Timur Akhmetov,**	1	ADVANCES IN FIXED POINT THEORY FOR NONLINEAR OPERATORS IN METRIC SPACES	Prof. Dr. Imran Khalid, Dr. Saira Javed, Adeel Rahman
		2	NUMERICAL SOLUTION OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS USING ADAPTIVE SPECTRAL METHODS	Dr. Huma Rashid, Assoc. Prof. Dr. Naveed Akhtar, Salman Jatoi
		3	MODELING EPIDEMIC SPREAD USING STOCHASTIC DIFFERENCE EQUATIONS ON RANDOM NETWORKS	Assis. Prof. Dr. Yasir Mehmood, Rabia Khan, Umer Siddiq
		4	GLOBAL STABILITY ANALYSIS OF DELAYED NONLINEAR SYSTEMS USING LYAPUNOV–KRAŠOVSKII FUNCTIONALS	Prof. Dr. Aigul Serikbayeva, Daniyar Omirzak
		5	FINITE ELEMENT APPROXIMATION OF ELLIPTIC PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS ON IRREGULAR DOMAINS	Dr. Nurzhan Kaldybay, Assis. Prof. Dr. Aliya Zhaksylyqova, Asem Tuleubekova
		6	OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION NETWORKS USING GRAPH THEORY AND INTEGER PROGRAMMING	Assoc. Prof. Dr. Timur Akhmetov, Madina Sarsembayeva
		7	SPECTRAL PROPERTIES OF SCHRÖDINGER OPERATORS WITH QUASI-PERIODIC POTENTIALS	Prof. Dr. Farhad Najafi, Maryam Dehghani
		8	ALGEBRAIC GEOMETRY APPROACHES TO ERROR-CORRECTING CODES OVER FINITE FIELDS	Dr. Laleh Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Reza Montazeri, Sina Rahimi
		9	NONLINEAR DYNAMICS AND CHAOS IN COUPLED MAP LATTICES WITH DELAYED FEEDBACK	Dr. Mehdi Karami, Assis. Prof. Dr. Neda Forouzan, Parham Jalili

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

20 Aralık / Dec 20, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Wang Mei**	1	GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR ENDANGERED HIMALAYAN MEDICINAL PLANTS IN INDIA	Dr. Priya Sharma, Amit Singh
		2	MICROBIAL BIOREMEDIATION POTENTIAL OF RHIZOSPHERIC BACTERIA IN ARSENIC-CONTAMINATED GROUNDWATER IN WEST BENGAL	Assoc. Prof. Dr. Neha Gupta, Vikram Joshi
		3	PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTICANCER ACTIVITY OF MARINE ALGAE FROM ANDAMAN ISLANDS	Dr. Anjali Patel, Sanjay Rao, Meera Desai
		4	CRISPR/CAS9-MEDIATED GENOME EDITING FOR BLAST RESISTANCE IN RICE VARIETIES FROM CHINA	Prof. Dr. Li Wei, Zhang Hao, Dr. Chen Xiaoming
		5	MITOCHONDRIAL GENOME DIVERSITY AND PHYLOGENETIC RELATIONSHIPS IN CHINESE ENDANGERED CRANE SPECIES	Assoc. Prof. Dr. Wang Mei, Liu Qiang
		6	NANOPARTICLE-MEDIATED GENE SILENCING FOR PEST RESISTANCE IN COTTON CROPS	Dr. Zhao Ling, Sun Yujie, Assis. Prof. Dr. Huang Fei
		7	SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES FOR PRODUCING HIGH-VALUE TERPENOIDS IN ENGINEERED YEAST FROM SINGAPORE	Prof. Dr. Tan Wei Ling, Dr. Lim Jia Hao, Sarah Ng
		8	METAGENOMIC ANALYSIS OF URBAN BEE MICROBIOMES AND POLLINATOR HEALTH IN TROPICAL SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Koh Hui Min, Rajesh Kumar
		9	CRISPR-BASED EPIGENETIC EDITING FOR ENHANCING DROUGHT TOLERANCE IN OIL PALM	Dr. Lee Mei Ling, Prof. Dr. Zhang Wei, Chloe Tan
		10	GENETIC REGULATION OF NEURAL CREST CELL MIGRATION DURING EARLY VERTEBRATE EMBRYOGENESIS	Prof. Dr. Elena Petrova, Dr. Ivan Marinov, Kristina Dimitrova

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ**	1	YEŞİL BİLGİ YÖNETİMİ ARAŞTIRMALARININ BİLİMSEL MANZARASI: EĞİLİMLER VE KAVRAMSAL ODAKLAR	Dr. Öğr. Üyesi Eray Ekin SEZGİN Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYA Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ
		2	SAĞLIK HİZMETLERİ PERSPEKTİFİNDEN ZOR HASTA ALGISI, GÖRÜLME SIKLIĞI VE SAĞLIK PERSONELİ ÜZERİNE ETKİSİNE İLİŞKİN BİR ÇERÇEVE	Dr. Öğr. Üyesi Nazmiye EKİNCİ Dr. Öğr. Üyesi Eray Ekin SEZGİN Dr. Öğr. Üyesi Enes KAYA
		3	SAĞLIK ÇALIŞANLARININ AFETE FARKINDALIK VE AFETE HAZIRLIK DURUMLARI	Mücahit KIZILDAĞ Doç.Dr.Nazan TORUN
		4	YÖNETİM VE LİDERLİK UYGULAMALARININ HALKLA İLİŞKİLER ÜZERİNDEKİ YANSIMALARI	Dr. Öğr. Üyesi Özge ÜSTÜN Doç. Dr. Mustafa ERBİR
		5	HAVACILIK VE SAĞLIK SEKTÖRÜNDE MANTAR YÖNETİM YAKLAŞIMI	Dr. Öğr. Üyesi Özge ÜSTÜN Öğr. Gör. Seda ÇOLAK
		6	EVDE BAKIM YARDIMINDAN YARARLANAN EBEVEYNLERİN YAŞAM KALİTESİ İLE YAŞAM DOYUMU	Adem BULUT Doç.Dr.Nazan TORUN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Öğr. Üyesi Feryat ALKAN**	1	FROM PLATO'S DIALECTIC TO SOCIAL MEDIA: RHETORIC SUBSTITUTING TRUTH	Dr. Yağmur YILDIRIM
		2	DİJİTAL İLETİŞİM ÇAĞINDA SOSYALLEŞME VE YALNIZLAŞMA	Dr. Öğr. Üyesi Feryat ALKAN
		3	SOSYAL MEDYANIN KRİZ İLETİŞİMİNDEKİ ETKİSİ: HIZLI TEPKİ, DOĞRU MESAJ	Dr. Öğr. Üyesi Feryat ALKAN
		4	THE TRANSFORMATION OF IMAGE FROM NEW MEDIA TO ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Yasemin ÇAKAR Prof. Dr., Deniz YENGİN
		5	DIGITAL GAMES AND VIOLENCE	Prof. Dr., Deniz YENGİN Yasemin ÇAKAR
		6	YAPAY ZEKA DESTEKLİ GOOGLE ADS MODELLERİNİN AJANS İŞ SÜREÇLERİ VE UZMAN ROLLERİ ÜZERİNDEKİ YANSIMALARI	Coşkun Alperen YILDIRIM
			FROM WITNESSING TO HYPERREALITY: YOUTUBER AESTHETICS IN TRT BELGESEL CONTENT	Assist. Prof. Dr. CEYHUN BAĞCI
		8	SİYASAL İLETİŞİM BAĞLAMINDA SOSYAL MEDYA KULLANIMI: 31 MART 2024 İZMİR YEREL SEÇİMLERİ ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Kutluhan NESİL Doç. Dr. Nedret ÇAĞLAR
		9		

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Prof. Ersin MÜEZZİNOĞLU**	1	OECD ÜLKLERİNDE SOSYAL KORUMA HARCAMALARININ EKONOMİK VE DEMOGRAFİK BELİRLEYİCİLERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Doç. Dr. Gülferah ERTÜRKMEN, Dr. Öğr. Üyesi, İsmet BOLAT,
		2	TÜRKİYE EKONOMİSİNDE TEMEL EKONOMİK GÖSTERGELERİN DEĞİŞİMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Dr. Öğr. Üyesi, İsmet BOLAT, Doç. Dr. Gülferah ERTÜRKMEN,
		3	Adam Smith'in Siyasal İktisadı ve Devlet Müdahalesinin Sınırları	Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ÖZİŞ
		4	AN INITIATIVE TO REVIVE THE ORGANIZATION OF REGIONAL COOPERATION FOR DEVELOPMENT: THE İZMİR AGREEMENT	Prof. Ersin MÜEZZİNOĞLU
		5	BİR SOSYAL BİLİMCİ OLARAK EROL GÜNGÖR	Prof. Dr., Fatih KIRIŞIK Prof. Ersin MÜEZZİNOĞLU
		6	BELİRSİZLİĞE TAHAMMÜLSÜZLÜK İLE KAYIPTAN KAÇINMA ARASINDAKİ İLİŞKİNİN DEMOGRAFİK AÇIDAN İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Asena Gizem YİĞİT
		7	RISK MANAGEMENT IN DIGITALIZING SUPPLY CHAINS: A MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING PERSPECTIVE	Şeymanur YILMAZ Doç. Dr. Serap Pelin TÜRKOĞLU
		8	ALGORİTMİK YÖNETİM VE İŞ GÜVENCESİZLİĞİ: DİJİTAL PLATFORM ÇALIŞMASININ DÖNÜŞTÜRDÜĞÜ EMEK İLİŞKİLERİ	Öğr. Gör. Dr. Sergen GÜRSOY

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Yakup ASLAN**	1	MALİ SUÇLARLA MÜCADELEDE ADLİ MUHASEBENİN ROLÜ	Öğretim Görevlisi Dr., Murat DEDEOĞLU
		2	SAHTE BELGEYLE MÜCADELE STRATEJİSİ - KURULUŞ GÖZETİMLİ ANALİZ (KURGAN)	Öğretim Görevlisi Dr., Murat DEDEOĞLU
		3	AİLE İŞLETMELERİNDE KURUMSALLAŞMA SÜRECİNE MUHASEBE SİSTEMİN ETKİSİ	HAKAN ALPER
		4	KÂRLILIK ANALİZİNDE YENİ YAKLAŞIMLAR : FAALİYET TABANLI MALİYETLEME İLE DOĞRU KARAR ALMA	Yüksek Lisans Öğrencisi SONGÜL TİLKER Doç. Dr. MURAT KARAHAN
		5	SÜRDÜRÜLEBİLİR KÂR İÇİN YÖNETİM MUHASEBESİ VE MALİYET MUHASEBESİ ENTEGRASYONU	Yüksek Lisans Öğrencisi TUĞÇE TANRIVERDİ Doç. Dr. MURAT KARAHAN
		6	BLOK ZİNCİRİ TABANLI MUHASEBE KAYITLARININ SÜREKLİ DENETİM SÜREÇLERİ İLE İLİŞKİSİ: KAVRAMSAL BİR İNCELEME	Arş. Gör. Tolga ÇAĞLAYANSUDUR Arş. Gör. Dr. Erdi BAYRAM Öğr. Gör. Dr. Ümit Hasan GÖZKONAN
		7	TAŞIYICI BİTKİLERE YÖNELİK DEVLET TEŞVİKLERİNİN TAM SET TÜRKİYE MUHASEBE / FİNANSAL RAPORLAMA STANDARTLARINA GÖRE İNCELENMESİ	Firdevs Ela MERDANE Prof. Dr. Ayşe Gül KÖKSAL
		8	IFRS 18: A NEW ERA IN THE PRESENTATION AND DISCLOSURE OF FINANCIAL STATEMENTS	Dr. Fatma Karakaya Demirkutlu
		9	REAKTİFTEN PROAKTİFE: MUHASEBENİN DÖNÜŞEN ROLÜ	Arş. Gör. Yusuf KASAP
		10	IFRS 17 INSURANCE CONTRACTS	Doç. Dr. Yakup ASLAN
		11	SUPPLY CHAIN ACCOUNTING	Doç. Dr. Yakup ASLAN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Eren GÖRGÜLÜ**	1	MİHRİMAH SULTAN CAMİİ ALÇI VİTRAY PENCERELERİNİN (REVZENLERİNİN) İNCELENMESİ	Dr. Öğretim Üyesi, Levent Aygül
		2	DOGMA AND NOTHINGNESS IN CONCEPTUAL ART: THE CRITICAL APPROACHES OF LESPER, BAUDRILLARD, AND PERNIOLA	Dr. Nilüfer ÖZAKÇAOĞLU
		3	A MUSICAL ANALYSIS OF TOKAT-BASED COMPOSER UNAL NARÇIN AND THE UNFORGETTABLE SONG "NIHAVEND ISTANBUL" (GIRL, WHERE IN ISTANBUL ARE YOU FROM)	Doç. Dr. Ahmet Hakan BAŞ Dilek YÜZLÜER
		4	FROM ETRUSCAN HERITAGE TO CONTEMPORARY DESIGN: THE REDISCOVERY OF THE GRANULATION DECORATION TECHNIQUE	Öğretim Görevlisi Müjgan Emre
		5	"IF YOUR PHOTOS AREN'T GOOD ENOUGH, YOU'RE NOT CLOSE ENOUGH": A CLOSE READING TO THE ROBERT CAPA CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY CENTER	Assoc. Prof. Savaş Onur ŞEN
		6	PAOLA PİVİ ESERLERİNDE MODERN YARATILIŞ MİTLERİ	Dr.Yakup DURSUN
		7	İHAP HULUSİ'NİN AFİŞLERİNDE İNSAN VE KİMLİK YANSIMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi Gizem AYDEMİR Doç. Sevda KARASEYFİOĞLU PAÇALI
		8	DISTORTED REALITY: GLITCH IN STÉPHANE GUILLAUME'S PORTRAITS	Assoc. Prof. Eren GÖRGÜLÜ
		9	THE TRANSFORMATION AND GLITCH OF FOUND PHOTOGRAPHS IN JOHN STEZAKER'S PORTRAITS.	Assoc. Prof. Eren GÖRGÜLÜ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ**	1	GÖKNARDAN ÜRETİLMİŞ ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAPLARDA ANİZOTROPİNİN VİDA ÇEKME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi Fatih KURUL
		2	KURAKLIK STRESİ ALTINDAKİ ASTER (ASTER AMELLUS L.) BİTKİSİNE GİBERELLİK ASİT (GA 3) UYGULAMASININ MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE RENK PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ Prof. Dr. Fikret YAŞAR Doç. Dr. Özlem ÜZAL
		3	ARTHROBACTER UYGULAMALARININ ASTER (Aster amellus L.) FİDE GELİŞİMİNE ETKİLERİ	Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ Doç. Dr. Özlem ÜZAL Prof. Dr. Fikret YAŞAR
		4	A COMPREHENSIVE REVIEW OF HOMOFERMENTATIVE AND HETEROFERMENTATIVE LACTIC ACID BACTERIA IN SILAGE FERMENTATION	Doç. Dr. Ayfer BOZKURT KİRAZ
		5	ADAPTATION STATUS OF RASPBERRY CULTIVARS IN TÜRKİYE	Lecturer Dr. Selcan ÖZYALIN Assoc. Prof. Dr. Servet ARAS Assoc. Prof. Dr. Murat GÜNEY Assoc. Prof. Dr. Müjgan GÜNEY
		6	EFFECTS OF BORON APPLICATIONS ON FRUIT SPECIES EXPOSED TO DROUGHT STRESS	Lecturer Dr. Selcan ÖZYALIN Assoc. Prof. Dr. Murat GÜNEY Assoc. Prof. Dr. Müjgan GÜNEY Assoc. Prof. Dr. Servet ARAS
		7	BROKOLİ MİKRO FİLİZİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BAZI ÖN UYGULAMALARIN FİZİKSEL KALİTE VE VERİM ÜZERİNE ETKİLERİ	Yük.Zir.Müh. Esra TAYFUR Doç. Dr. Özlem ÜZAL Prof. Dr. Fikret YAŞAR
		8	DOMATES (Solanum lycopersicum L.) FİDELERİNİN MAKRO ELEMENT ALIMINA SİLİSYUM VE POTASYUM UYGULAMALARININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI	Ramazan PARAN Doç. Dr. Özlem ÜZAL Prof. Dr. Fikret YAŞAR
		9	ATRAZİN MARUZİYETİNİN Daphnia magna'da OKSİDATİF STRES YANITLARI	Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ
		10	DİFLUBENZURONUN KRONİK MARUZİYETİNİN Daphnia magna ÜZERİNDEKİ EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ	Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. Ahmet SAYLIK**	1	STEM From Knowledge to Creativity	Asst. Prof. Elza Bitsadze Invited specialist Lia janadze
		2	EXAMINATION OF THE DECISION-MAKING SKILLS OF 4TH GRADE PRIMARY SCHOOL STUDENTS	Hilal UYSAL Prof. Dr. Mehmet Kaan DEMİR
		3	CANONICAL CORRELATION ANALYSIS IN PRACTICE: A STEP-BY-STEP TUTORIAL USING R	Lect. Hüseyin ATASEVEN Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU Assoc. Prof. Dr. Fazilet TAŞDEMİR
		4	MULTI-CRITERIA DECISION-MAKING: A WASPAS TUTORIAL	Lect. Hüseyin ATASEVEN Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU Assoc. Prof. Dr. Fazilet TAŞDEMİR
		5	A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRADUATE PROGRAMS IN EDUCATIONAL ADMINISTRATION IN THE USA AND TÜRKİYE	Büşra KEZER EKİN Doç. Dr. Ahmet SAYLIK
		6	THE CHANGING FACE OF PRIVATE TUTORING: BOOK CAFES AS A NEW SPATIAL PRACTICE OF SHADOW EDUCATION	Şuayp EKİNCİ Doç. Dr. Ahmet SAYLIK
		7	ANALYSIS OF THE AESTHETIC PERCEPTIONS OF STUDENTS IN FINE ARTS HIGH SCHOOLS IN THE CONTEXT OF KITSCH	Doç. Dr. Murat ASLAN Elinur ERKUMRU ÖZTÜRK
		8	MINDFULNESS-INTEGRATED PEACE PEDAGOGY: ENHANCING EMPATHY AND EMOTIONAL LITERACY IN EFL CLASSROOMS	Assist. Prof. HÜLYA KÜÇÜKOĞLU
		9	REIMAGINING LITERATURE IN ELT: A HUMANISTIC AND INTERCULTURAL FRAMEWORK FOR POST-CONFLICT AND MULTICULTURAL CLASSROOMS	Assist. Prof. HÜLYA KÜÇÜKOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Prof. Dr. Meltem AYDIN**	1	A COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTROL MECHANISMS İN EUROPE AND THE OTTOMAN EMPIRE WITHIN THE CONTEXT OF STATE–SOCIETY RELATIONS	Prof. Dr. Hüseyin Vehbi İMAMOĞLU
		2	AN EVALUATION OF THE INTERNATIONAL NETWORKS OF SULTAN ABDULHAMID II'S INTELLIGENCE OPERATIVES	Prof. Dr. Hüseyin Vehbi İMAMOĞLU
		3	ŞÜKUFE NİHAL'İN "FİNLANDİYA" İZLENİMİNDE MODERN TÜRK KADIN KİMLİĞİNİN İNŞASI	Yüksek Lisans Öğrencisi Rüveyda ERDEM
		4	KÜTAHYA LİVASI ALTINTAŞ NAHİYESİ NÜFUS DEFTERİ	Öğr. Gör. Lokman AYDIN
		5	XVII. YÜZYILDA KÜTAHYA SANCAĞI VE NAHİYELERİNDE AVARIZ DEFTERİ KAYITLARINA GÖRE ASKERİ SINIFLAR	Prof. Dr. Meltem AYDIN
		6	HİERAPOLİS KOLEKSİYONUNDA BİR HARPOKRATES FİGÜRİNİ: KÜLTÜREL SENKRETİZMİN İKONOGRAFİK YANSIMASI	Doktora Öğrencisi Esma İVRENDİ ŞENOL
		7	IBN BASHO WHO ANDALUSİAN ASTROLABE MAKER	Doç. Dr. Seyfettin KAYA
		8	TEZKERECİ KÖSE IBRAHİM EFENDİ AND ASTRONOMY ACTİVİTİES	Doç. Dr. Seyfettin KAYA
		9	HEKİMLER-MOZAİKLİ KİLİSESİ VE ERKEN BİZANS DÖNEMİ ZEMİN DÖŞEMELERİ	Uzm. Arkeolog Fatma TAVLI

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Dr. Oğuz YILDIRIM**	1	A SACRED SITE IN TUNCELI: HIZIR ZIYARETI (JARA GOLA ÇETO)	Tansu ÖZKAN Hıdır SÖNMEZ
		2	A FAITH AND SOLIDARITY CENTER IN TUNCELI: YOLKONAK (SORPIYAN) CEMEVI	Tansu ÖZKAN Hıdır SÖNMEZ
		3	TAHİR KAHHAR ŞİİRLERİNDE EDEBÎ HAFIZA VE ŞAHSİYETLER	Dr. Recep KILIÇ
		4	GELENEĞİN GÜNCELLENMESİ BAĞLAMINDA KARAGÖZ	Yüksek Lisans Öğrencisi Merve Safa BELLİ
		5	FOLK BELIEFS ABOUT THE COSMIC WORLD IN 19TH CENTURY DIVAN POETRY	Dr. Oğuz YILDIRIM
		6	SOME NOTES ON THE ORTHOGRAPHY OF KUL MESUD'S TRANSLATİON OF KELİLE VE DİMNE	Tümer CANPOLAT Prof.Dr.Fatih ÖZEK

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. M. Kayhan KURTULDU**	1	TÜRKİYE'DE GEÇİŞ HİZMETLERİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ	Doç. Dr. Ş. Şenay İLİK Uzman Şeyma AKÇA SARI
		2	İLKOKULDAN ORTAOKULA GEÇİŞ YAPAN KAYNAŞTIRMA ÖĞRENCİLERİNİN GEÇİŞ SÜRECİNDE YAŞADIKLARI ZORLUKLARA YÖNELİK AİLE GÖRÜŞLERİ	Doç. Dr. Ş. Şenay İLİK Uzman Müşerref GEDİKLİ
		3	ARMONİ DERSİNDE EKLEMLEMEYE DAYALI ŞEMALARIN MÜZİK ÖĞRETMENİ ADAYLARININ ÖĞRENME DÜZEYİNE ETKİSİ	Prof. Dr. M. Kayhan KURTULDU
		4	TÜRKİYE VE ALMANYA'DA İLKOKUL MÜZİK EĞİTİMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	Hasan Hüseyin AKAY Prof. Dr. Aylin MENTİŞ
		5	ÇOCUKLAR İÇİN ORFF SCHULWERK EĞİTİMİ	Hasan Hüseyin AKAY Prof. Dr. Aylin MENTİŞ
		6	TEKNOLOJİK DEĞİŞİME HAZIR OLMA DEĞİŞKENİN YORDAYICILARI OLARAK TEKNOLOJİ ENTEGRASYONUNA YÖNELİK ÖZ YETERLİK ALGISI İLE YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK KAYGI: BİR REGRESYON MODELİ	Doktora Öğrencisi Elif AKAN Prof. Dr. A. Halim ULAŞ
		7	TEKNOLOJİK DEĞİŞİME HAZIR OLMA DEĞİŞKENİN YORDAYICILARI OLARAK TEKNOLOJİ ENTEGRASYONUNA YÖNELİK ÖZ YETERLİK ALGISI İLE YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK KAYGI: BİR REGRESYON MODELİ	Doktora Öğrencisi Elif AKAN Prof. Dr. A. Halim ULAŞ
		8	ORTAOKUL 7. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN ELEŞTİREL DÜŞÜNME EĞİLİMLERİNİN, OKUMA MOTİVASYONU VE OKUDUĞUNU ANLAMA ARASINDAKİ İLİŞKİDE ARACI ROLÜNÜN İNCELENMESİ	Doktora Öğrencisi Elif AKAN Prof. Dr. A. Halim ULAŞ
		9	GENERATIVE AI FOR TEACHING&LEARNING ENGLISH: PROS & CONS	Assoc. Prof. Dr. Zeynep Y. AVCI

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Maria Stoyanova,**	1	EPIGENETIC CONTROL OF IMPRINTED GENES IN PREIMPLANTATION MAMMALIAN EMBRYOS	Assoc. Prof. Dr. Dimitar Nikolov, Milena Georgieva, Dr. Petar Vasilev
		2	MOLECULAR MECHANISMS OF HEART FIELD PATTERNING IN EARLY CHICK EMBRYOS	Dr. Maria Stoyanova, Georgi Iliev, Assis. Prof. Dr. Desislava Koleva
		3	CRISPR-BASED CORRECTION OF MONOGENIC BLOOD DISORDERS IN HUMAN INDUCED PLURIPOTENT STEM CELL–DERIVED EMBRYOID BODIES	Prof. Dr. Li Wei, Dr. Zhang Rui, Chen Xiaoling
		4	SINGLE-CELL TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF HUMAN BLASTOCYSTS TO MAP LINEAGE SEGREGATION	Dr. Wang Yifan, Assoc. Prof. Dr. Liu Mei, Zhao Chen, Tang Jiayi
		5	FUNCTIONAL ANALYSIS OF HOX GENE CLUSTERS IN VERTEBRAL COLUMN PATTERNING USING ZEBRAFISH MODELS	Prof. Dr. Zhang Hui, Lin Qiang
		6	GENETIC BASIS OF NON-SYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE IN AZERBAIJANI FAMILIES: A WHOLE-EXOME APPROACH	Prof. Dr. Leyla Mammadova, Dr. Rashad Aliyev, Aygun Ismayilova
		7	CHARACTERIZATION OF MITOCHONDRIAL DNA VARIANTS IN EARLY EMBRYONIC DEVELOPMENT AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON IMPLANTATION	Dr. Kamala Huseynli, Assoc. Prof. Dr. Elvin Rahimov
		8	ROLE OF WNT SIGNALING IN PRIMORDIAL GERM CELL SPECIFICATION IN A MURINE EMBRYONIC STEM CELL MODEL	Assis. Prof. Dr. Nigar Aliyeva, Murad Kazimov, Dr. Samir Guliyev

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Dr. Stefan Nikolov**	1	BYZANTINE INFLUENCES ON BULGARIAN MEDIEVAL CHURCH ARCHITECTURE IN THE 10TH-12TH CENTURIES	Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Maria Stoyanova, Dimitar Georgiev
		2	OTTOMAN MOSQUE DESIGN EVOLUTION IN BULGARIAN CITIES DURING THE 16TH-18TH CENTURIES	Assoc. Prof. Dr. Elena Dimitrova, Krasimir Ivanov
		3	BRUTALIST CONCRETE ARCHITECTURE AND ITS SOCIO-POLITICAL CONTEXT IN SOCIALIST BULGARIA	Dr. Stefan Nikolov, Assis. Prof. Dr. Anna Petrova, Radoslav Todorov
		4	ISLAMIC GEOMETRIC PATTERNS IN ALGERIAN SAADIAN MOSQUE DECORATION SYSTEMS	Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Fatima Zohra Hamdi
		5	FRENCH COLONIAL VILLA TYPOLOGIES AND CLIMATIC ADAPTATION IN ALGERIAN COSTAL CITIES	Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif, Karim Mansouri
		6	POST-WAR JAPANESE METABOLISM MOVEMENT AND URBAN GROWTH STRUCTURES IN TOKYO	Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato
		7	TRADITIONAL JAPANESE TEMPLE CARPENTRY AND SEISMIC RESILIENCE PRINCIPLES	Dr. Yumi Kobayashi, Taro Yamamoto, Assis. Prof. Dr. Mika Fujimoto
		8	ZEN GARDEN DESIGN PRINCIPLES AND SPATIAL PERCEPTION IN KYOTO TEMPLE LANDSCAPES	Assoc. Prof. Dr. Satoshi Ikeda, Reina Suzuki

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Kristina Ivanova**	1	INTEGRATED WASTEWATER TREATMENT STRATEGIES FOR NUTRIENT REMOVAL IN BULGARIAN MUNICIPAL PLANTS	Prof. Dr. Petar Dimitrov, Dr. Elena Todorova, Ivan Kolev
		2	ASSESSMENT OF URBAN AIR QUALITY AND TRAFFIC-RELATED POLLUTION IN SOFIA USING LOW-COST SENSOR NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Maria Stoyanova, Georgi Angelov,
		3	EVALUATION OF RIVER WATER QUALITY AND ECOSYSTEM HEALTH IN THE MARITSA BASIN UNDER AGRICULTURAL PRESSURE	Dr. Kristina Ivanova
		4	SOLID WASTE MANAGEMENT CHALLENGES AND INFORMAL RECYCLING PRACTICES IN ALGERIAN MEDIUM-SIZED CITIES	Prof. Dr. Ahmed Benyamina, Dr. Laila Boudjema, Samir Chikhi
		5	ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN COASTAL ALGERIAN AQUIFERS	Dr. Rachida Amrani, Assoc. Prof. Dr. Mourad Sellami
		6	LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION WITH ENERGY RECOVERY IN JAPANESE CITIES	Prof. Dr. Hiroshi Nakamura, Dr. Yuki Tanaka, Ayumi Sato
		7	URBAN STORMWATER MANAGEMENT AND GREEN INFRASTRUCTURE APPLICATIONS IN TOKYO RESIDENTIAL DISTRICTS	Dr. Keiko Suzuki, Assis. Prof. Dr. Masato Fujii, Rina Kobayashi, Takumi Mori
		8	OPTIMIZATION OF ENERGY-EFFICIENT AERATION SYSTEMS IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN JAPAN	Dr. Kenji Yamamoto, Prof. Dr. Naoko Ishikawa

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Honma Nasiry**	1	SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH	Wang Teh , Dr. Chin Lee
		2	FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA	Assis. Prof. Anthony Ademeso Odunyemi
		3	APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES	Yuxin Gama , Qingyun Chen Di, C. Dinis da
		4	UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS	Abdulrahman Abdulrahman
		5	COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE-FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA	Dr. Rahim Amin
		6	GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS	Polat Inci , Hasan Develioglu
		7	OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD	Arii Yudhaprasetya, Ario Agus , Guritno Setiawan, Recky Supriatna Tehupuring Cosmas
		8	NUMERICAL SIMULATION OF OIL-WATER DISPLACEMENT IN PETROLEUM RESERVOIRS: TWO-DIMENSIONAL OBSERVATIONS AND APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Honma Nasiry, Shigeo Ahmad

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assis. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov Dr. Zhanar Kazybekova**	1	EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS	Aigerim Zhanbota Nurlan Abilov Aruzhan Kassenova
		2	STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN	Faridah Binti Mohamad Dr. Ahmad Faizal
		3	PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA	Dana Sadykova Mohd Hafiz Bin Ismail
		4	APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA	Nurul Afiqah Ahmad Zulkifli
		5	MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS	Assis. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov Dr. Zhanar Kazybekova
		6	COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE	Siti Nur Aisyah Mohd Faizal
		7	GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS	Ayanbek Nurmagambetov Rashidah Binti Ahmad
		8	OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD	Zhanar Mukanova Nurul Huda

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn**	1	OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS	Dr. Samuel Karanja
		2	ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION	Dr. Min-Jae Kim
		3	EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE	Dr. Carlos Mendoza
		4	INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS	Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn
		5	CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS	Dr. Priya Nair Dr. Rajesh Kumar
		6	DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansouri
		7	ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS	Dr. Grace Nwosu
		8	SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT	Prof. Dr. Beata Sezabo

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Chang-hyun Lee**	1	EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK	Xiang W. Chen, Mei L. Wang, Liang K. Zhang
		2	STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY	Behzad Rahmani, Reza Mirzaei
		3	EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES	E. Johnson
		4	EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL	Mei-Ling Chang, Hui-Ling Huang, Wan-Yu Yu, Chung-Lun Wei
		5	ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS	Dr. Alice Smith, Lec. John R. Thompson
		6	ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH	Petra Novak, Pavel Novotny, Jan Hruska
		7	INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY	Dr. Chang-hyun Lee, Min-seok Choi, Sang-hoon Kim
		8	MITIGATING DAD ATTACKS IN MANET: A COMPREHENSIVE APPROACH	Hyewon Kim, Jisoo Lee

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assis. Prof. Dr Wei-Lin Chang**	1	ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS	Sung Min Park, Hyun Jung Choi, Seung Woo Kim, Ji Hyun Lee, Sang Min Yoon
		2	INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES	Fatima Al-Hassan, Ganesh Kothapalli, Majid Tolouei-Rad
		3	MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES	Assis. Prof. Dr Wei-Lin Chang, Hsiao-Mei Lin
		4	ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS	A. Ahmadi, M. Rezaei
		5	ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES	John Smith, Alice Johnson, Michael Lee, Sarah Brown
		6	ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH ADVANCED HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES	Ahmed Mahmoud, Maryam Rahimi, Sara Abbasi
		7	ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR	Ming Li, Fang Wang
		8	EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS	Ming-Hua Wang, Bo-Chiuan Chen, C. W. Hsu
		9	EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA	Dr. Nurul Hidayah Abdullah, Dr. Ahmad Faisal Mohd Zain

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. Samir Abbass**	1	ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR PREDICTIVE ANALYTICS IN KAZAKHSTAN'S HEALTHCARE SYSTEM	Prof. Dr. Aigerim Tuleuova Assis. Prof. Dr. Yerzhan Bakyt Dr. Valentina Sarsembayeva
		2	MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF SMART CITY TRANSPORTATION NETWORKS IN ALMATY	Dr. Nursultan Baimurzin Bibigul Amanzhol
		3	DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL SOFTWARE FOR MATHEMATICS TEACHING IN SECONDARY IRAQI SCHOOLS	Prof. Dr. Samir Abbass Assis. Prof. Dr. Noor Fayez
		4	ADVANCED APPLIED ALGEBRAIC METHODS FOR CRYPTOGRAPHIC SECURITY IN IRAQI E-GOVERNMENT SYSTEMS	Dr. Lamia Jawad Yousef Abdul-Rahman
		5	SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES AND AGILE PRACTICES IN SOFTWARE FIRMS OF LAOS	Prof. Dr. Viengxay Khamphoumy Dr. Sombath Malathep Manivone Sengchanh
		6	ALGORITHMIC THINKING AND MATHEMATICS ACHIEVEMENT IN LAOS PRIMARY EDUCATION	Dr. Sivilay Kettavong
		7	BIG DATA ANALYTICS AND MACHINE LEARNING FOR BANGLADESHI FINANCIAL INSTITUTIONS	Prof. Dr. Md. Shah Alam Taslima Khan Mizanur Rahman Asmaul Husna
		8	MATHEMATICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN BANGLADESH	Dr. Farhana Haque Prof. Dr. Abdullah Sarkar Hasan Al Mamun

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Assoc. Prof. Dr. Helena Schmidt**	1	A COGNITIVE FRAMEWORK FOR CLASSIFYING FREQUENCY SIGNALS	Rui Santos Fernando Oliveira
		2	IMPACT OF ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGIES ON WOMEN'S EXPERIENCES IN NEW DELHI: A FEMINIST ANALYSIS	Dr. Anjali Mehta
		3	ADDRESSING THE MISUSE OF LEGAL AUTHORITY IN SOCIETY	Dr. Olufemi Adeyemi
		4	URBAN POVERTY AND SOCIAL STRUCTURES: THE ROLE OF INVOLUNTARY RELATIONSHIPS	Dr. Farid Al-Mansouri
		5	TECHNICAL KNOWLEDGE TRANSFER AND THE CHALLENGES OF TRANSLATING SPECIALIZED TEXTS	Dr. Youssef El-Khatib
		6	THE INFLUENCE OF ISLAMIC ART TRADITIONS ON OMANI TEXTILE MOTIFS	Dr. Aisha Al-Harthy
		7	MANAGING COMPLEXITY IN SYSTEM DESIGN: PARADIGMS, FORMALISMS, AND TRANSFORMATION TECHNIQUES	Dr. Karim Ben Saad Dr. Laurent Dupont
		8	EUROPE'S INFLUENCE IN LIBERTY, SECURITY, AND JUSTICE: A STUDY OF ITS ROLE AS AN INTERNATIONAL ACTOR	Assoc. Prof. Dr. Helena Schmidt
		9	MIGRATION PATTERNS AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO OUT-MIGRATION IN GEORGIA	Nino Giorgadze

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Dr. Mariana Costa**	1	ANALYZING STUDENTS' RESPONSES TO THE MODIFIED RORSCHACH COMPREHENSIVE SYSTEM: A PSYCHOLOGICAL PERSPECTIVE	Thabo Mokoena, Sipho Dlamini, Naledi Khumalo
		2	MOTIVATIONAL FACTORS AND OBSTACLES TO RECYCLING IN KOTA KINABALU, MALAYSIA	Nurul Aisyah, Faridah Hassan, Lim Wei Jie,
		3	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF METAPHOR THERAPY ON DEPRESSION IN FEMALE UNIVERSITY STUDENTS	Dr. Fatemeh Hosseini
		4	INVESTIGATING SECOND LANGUAGE WRITING AND SENSITIVITY IN NON-ENGLISH LANGUAGE TASKS: PROFICIENCY ANALYSIS	Dr. João Pereira, Dr. Mariana Costa
		5	HIERARCHICAL MODELING OF COGNITIVE AND BEHAVIORAL DIFFICULTIES IN UNDERREPRESENTED POPULATIONS	Li Wei, Chen Ming
		6	COMPARING MUSICAL NOTATION AND ALPHABET READING: TEACHING IMPLICATIONS FOR DYSLEXIC LEARNERS	Assoc. Prof. Dr. Rachel Stein
		7	ANALYSIS OF FATIGUE AND DROWSINESS AMONG NIGHT-TIME PASSENGER TRANSPORT WORKERS IN JAPAN	Kenji Nakamura
		8	UTILIZING DIGITAL GAMING FOR EDUCATIONAL SUPPORT: STRATEGIES TO ADDRESS LEARNING CHALLENGES	Dr. Eleni Papadopoulou
		9	THE INTERPLAY BETWEEN JOB SATISFACTION, MOTIVATION, AND ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR	Dr. Faisal Ahmed

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr. Ramazan ADIBELLİ**	1	18. YÜZYIL ADANA'SINDA KIYAFET DÜZENİ VE SOSYAL HİYERARŞİ: VALİ SAİD MEHMED PAŞA'NIN KIYAFET NİZAMNAMESİ (1759)	Doç. Dr. Ömer KORKMAZ Doç. Dr. Hasan KAYAPINAR
		2	OSMANLI FIKHINDA METİN-HAŞİYE DİYALEKTİĞİ: MOLLA HÜSREV VE ŞÜRÜNBÜLÂLÎ'DE SADAKA-İ FITIR	Doç. Dr. Hasan KAYAPINAR Doç. Dr. Ömer KORKMAZ
		3	YÛNUS SÛRESİNDEKİ KIRAAT FARKLILIKLARININ MANAYA ETKİSİ	Yüksek Lisans Öğrencisi İsmail GÖKTEKE
		4	GÜNCEL PERSPEKTİF AÇISINDAN MAKÂSID BİLGİSİNİN TEORİK VE PRATİK FAYDALARINA DAİR BİR ANALİZ	Doç. Dr. Taha YILMAZ
		5	GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ŞİAYA GÖRE İCTİHAD VE TAKLİD OLGUSU	Doç. Dr. Taha YILMAZ
		6	NEW TOOLS AND OPPORTUNITIES IN THE FIELD OF COMPARATIVE MYTHOLOGY	Prof. Dr. Ramazan ADIBELLİ
		7	HOW DID KING LOUIS IX BECOME SAINT LOUIS? THE RELATIONSHIP BETWEEN RELIGION AND POLITICS IN 13TH CENTURY FRANCE	Prof. Dr. Ramazan ADIBELLİ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL**	1	CANONICAL BIPLOT - BASED RISK PROFILING OF EARLY - LIFE GROWTH AND SURVIVAL IN HAIR GOAT KIDS	Doç. Dr. Hatice HIZLI Dr. Şerife ERGÜL
		2	FİLOGENETİK ANALİZLERDE DNA DEĞİŞİM MODELLERİ	Cemalettin Sefa AYKAÇ Dr. Oğr. Üyesi Selahaddin KİRAZ
		3	KOYUNLARDA MOLEKÜLER FİLOGENETİK ANALİZLER	Cemalettin Sefa AYKAÇ Dr. Oğr. Üyesi Selahaddin KİRAZ
		4	INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANOSIZED POLYSTYRENE APPLICATION ON OXIDATIVE STRESS IN ZEBRAFISH GILL TISSUE	Dr. Öğr. Üyesi Ekrem SULUKAN Student Ekrem Efe ATMAZ
		5	GELENEKSEL TIPTAN MODERN FİTOTERAPİYE: BALIKLARDA AYNISEFA (CALENDULA OFFİCİNALİS) VE ACIBADEM (PRUNUS DULCİS) BİTKİLERİNİN ANTİİNFLAMATUAR ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ	Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL Prof. Dr. Altuğ KÜÇÜKGÜL
		6	TUNCELİ SU KAYNAKLARINDA MİKROBİYAL ÇEŞİTLİLİK VE BALIK MİKROBİYOTASI	Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL Prof. Dr. Altuğ KÜÇÜKGÜL
		7	HYPOADRENOCORTICISM IN CATS AND TREATMENT OPTIONS	Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN
		8	CONSERVATION OF THE MUNZUR TROUT (Salmo munzirucus): GENUINE CONSERVATION OR AN APPROACHING LOSS?	Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ
		9	SEX DIFFERENCES IN DIETARY PREFERENCES AND FEEDING STRATEGIES IN FISH	Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Dr. Öğr. Üyesi, İBRAHİM KONUK**	1	INSAR APPROACH FOR MONITORING AND IDENTIFYING GEOLOGICAL HAZARDS: AN EVALUATION BASED ON CASE STUDIES FROM TÜRKIYE AND IRAN	Dr. Marjan TOURANI
		2	HAVACILIK OPERASYONLARINDA İNSAN FAKTÖRÜ: PSİKOLOJİK ETMENLERİN GÖRECE ÖNEMİ	Tuğçe AKPINAR Dr. Öğr. Üyesi Zafer DURAN
		3	Behavioral Safety in Occupational Health and Safety: A Theoretical Analysis	Dr. Cihan Serhat KART Dr. Evin MİSER
		4	The Role of Human Factors in Root Cause Analysis of Occupational Accidents: A Conceptual Framework	Dr. Cihan Serhat KART Dr. Evin MİSER
		5	THE ENHANCEMET OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY OF UNDERGROUND MINING MACHINERY OPERATORS	Dr. Öğr. Üyesi, İBRAHİM KONUK
		6	MINING ACTIVITIES IN ARTVİN PROVINCE	Dr. Öğr. Üyesi, İBRAHİM KONUK
		7	INVESTIGATION OF COLOR SPACE (CIE L^* a^* b^*) VALUES OF WASHING FASTNESS OF WOOL YARNS DYED WITH LICOICE ROOT	Öğrenci Şehaddet AVAŞ Doç. Dr. Menderes KOYUNCU
		8	Circular Models in the Leather and Textile Industry: Transition from Waste Management to Biomaterials	Öğr. Gör. ERTAN EROL Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER
		9	BÜYÜKBAŞ HAYVAN IRKLARINA ÖZGÜ DERİ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: SİMENTAL, HOLSTEİN VE HEREFORD ÖRNEKLERİ	Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER Öğr. Gör. ERTAN EROL

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Doç. Dr. Zeynep TURHAN**	1	DIGITALIZATION AND FAMILY: AN ANALYSIS OF PRIVACY FROM THE PERSPECTIVE OF SOCIAL POLICY AND SOCIAL WORK	Assistant Professor (PhD). Emine Ebru BOZÇELİK
		2	ENHANCİNG THE EFFECTİVENESS OF AI-BASED PSYCHOTHERAPY FOR YOUTH: A CRİTİCAL REVİEW OF INTERVENTİONS FOR SPECİFİC PSYCHOLOGİCAL DİSORDERS	Doç. Dr. Zeynep TURHAN
		3	THE EFFECTS OF TECHNOLOGY ADDICTION ON ADULT INDIVIDUALS' LIVES	Sosyal Çalışmacı Zeliha Büşra ÇAKAN Doç. Dr. Rumeysa AKGÜN
		4	SOCIAL SERVICE POLICIES FOR INDIVIDUALS WITH DISABILITIES IN DISASTER MANAGEMENT: AN ASSESSMENT THROUGH TURKEY AND AUSTRALIA	Doç. Dr. Sami Kalaycı Hatice Dilan Duman
		5	AFETLERDE ÇOCUKLARA YÖNELİK SOSYAL HİZMET MÜDAHALESİ: İSVEÇ ÇOCUK REFAHI SİSTEMİ ÜZERİNDEN BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Sami KALAYCI Hatice Dilan DUMAN
		6	NARRATIVE TRANSFORMATION IN THE SOCIAL INTEGRATION OF MIGRANT WOMEN: A MULTI-THEORETICAL EMPOWERMENT MODEL PROPOSAL FOR SOCIAL WORK	Melike AYDOĞAN Doçent Dr. Serdar AYKUT Semanur ŞANVERDİ
		7	METAPHORICAL PERCEPTIONS OF EDUCATION AND EMPLOYMENT AMONG NEET YOUTH	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Dr. Öğr. Üyesi, Resul DURAN Dr. Öğr. Üyesi, Hüseyin DOĞAN
		8	THE APPEARANCE OF MIGRATION AND URBANIZATION PROBLEMS AS A SOCIAL ISSUE: A REVIEW ONTURKEY	Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin LEVENT Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Doç. Dr. Kenan BAŞ Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin DOĞAN
		9	SOCIAL POLICIES TOWARD ADVERSE INCORPORATION INTO SOCIAL LIFE	Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Erdem TUNÇ
		10	RISK POOLING AND EXPERIENCE RATING IN THE FINANCING OF WORK ACCIDENTS AND OCCUPATIONAL DISEASES INSURANCE: THEORY AND THE TURKISH CASE	Dr. Öğr. Üyesi Yusuf Erdem TUNÇ
		11	STUDIES ON SOLUTION-FOCUSED BRIEF THERAPY IN SOCIAL WORK: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS USING VOSVIEWER	Res. Asst. Mustafa Emin AKÇİN Assoc. Prof. H. İrem KALAYCI KIRLIOĞLU
		12	A BİBLİOMETRİC ANALYSİS OF STUDİES ON SOCİAL ANXİETY DİSORDER İN THE FİELD OF SOCİAL WORK	Res. Asst. Mustafa Emin AKÇİN Assoc. Prof. H. İrem KALAYCI KIRLIOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KÜÇÜKÇENE**	1	THE MODERATING ROLE OF PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN THE EFFECT OF PERCEIVED DARK LEADERSHIP ON EMPLOYEE SILENCE: A STUDY ON HOTEL EMPLOYEES	Dr. Dilek MUTLU BAYIN Dr. Pelin CANDAR
		2	ETİK LİDERLİK ARAŞTIRMALARININ BİLİMSEL HARİTASI: BİBLİYOMETRİK BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KÜÇÜKÇENE Dr. Öğr. Üyesi Erdem KARATAŞ
		3	DOES İNNOVATİON AND ARTİFİCİAL İNTELLİGENCE ANXİETY STRATEGİC DESİCİON MAKİNG?	Firangiz RAMAZANOVA Ali Şahin Örnek
		4	GERÇEK Mİ İZLENİM Mİ? GÖSTERİŞÇİ ÇALIŞMANIN İŞ YAŞAMINDAKİ YANSIMALARI	Doç. Dr. İnan KAYNAK
		5	ÖRGÜTSEL NARSİZMİN ÖRGÜTSEL SAPMA DAVRANIŞINA ETKİSİ	Doç. Dr. İnan KAYNAK
		6	AI-Powered Neurotechnologies in Understanding Consumer Behavior: A Conceptual Framework	Öğr. Gör. Dr. Öznur AKTAŞ
		7	DİJİTAL PAZARLAMADA ÜRETİCİ YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ: TEMEL MODELLER VE UYGULAMA ALANLARI ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR İNCELEME	Öğr. Gör. Dr. Öznur AKTAŞ
		8	İŞYERİNDE ERTELEME DAVRANIŞININ (PROCRASTINATION) DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Oğuzhan CANSIZ Doç. Dr. Canan YILDIRAN
		9	ZAMAN YÖNETİMİNİN ALGILANAN AŞIRI İŞ YÜKÜ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNDE ALGILANAN YÖNETİCİ DESTEĞİNİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ	Dr. Öğr. Üyesi Bumin Çağatay AKSU Dr. Öğr. Üyesi Turgay KARALİNÇ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Dr. Öğr. Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ**	1	Dijital Platformların Yıkıcı Etkisi Karşısında Sinema Salonlarının Rekreasyonel Dönüşümü	Yüksek Lisans Öğrencisi Mert TESTERE
		2	Turizm İşletmelerinin Geleceğinde Yapay Zeka ve Dijitalleşmenin Rolü	Mert Testere
		3	ANALYSIS OF MOBBING PERCEPTION AMONG PROFESSIONAL KITCHEN WORKERS IN THE CONTEXT OF GENDER AND SECTORAL SUSTAINABILITY: NOT BEING VALUED AS MUCH AS A MACARON	Öğr. Gör. Dr. Özge BÜYÜK
		4	"IS THIS THE JUSTICE OF THE WORLD?" : CLASS-BASED ANGER, HATRED, AND SERVICE SABOTAGE AMONG TOURISM WORKERS	Öğr. Gör. Dr. Özge BÜYÜK
		5	THE SLOW FOOD MOVEMENT AND THE RECONSTRUCTION OF LOCAL CUISINE IDENTITY	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Dr. Öğr. Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ
		6	EXAMINING THE TRANSFORMATION OF TRADITIONAL MENU ENGINEERING THROUGH THE INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	Doç. Dr. Gizem Sultan KAMAN Dr. Öğr. Üyesi Rabia BÖLÜKBAŞ
		7	ULUSLARARASI ÖĞRENCİ DEĞİŞİM PROGRAMLARININ YİYECEK-İÇECEK HİZMETLERİ ÖĞRENCİLERİNİN AKADEMİK MOTİVASYON VE BAŞARISINA ETKİSİ	İlknur ELİBOL Dr. Öğretim Üyesi Fulya Harp Çelik
		8	TURİST REHBERLERİNİN TURİST REHBERLİĞİ MESLEĞİNE İLİŞKİN METAFORİK ALGILARI	Dr. Öğr. Üyesi Hasret ULUSOY MUTLU Dr. Öğr. Üyesi Arzu BALIKOĞLU

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Metin AKSOY**	1	AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ'NİN 2025 ULUSAL GÜVENLİK STRATEJİ BELGESİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi, YUSUF MEHMET AKAY
		2	ARTAN GÜVENLİK TEHDİTLERİ KARŞISINDA NATO SAVUNMA HARCAMALARININ GELİŞİMİ	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Aktuğ Doç. Dr. Ferhat Çağrı ARAS
		3	RANTİYER DEVLET MODELİNDEN NEO-RANTİYERLİĞE: HİNDİSTAN'IN DİASPORA TABANLI DIŞ GELİR EKONOMİSİ	Doç. Dr. Ferhat Çağrı ARAS Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Aktuğ
		4	HOW DOES THE SECURITY DILEMMA SHAPE INTERSTATE RELATIONS?	Master's Student, Nedim ÖZDEŞ Assoc. Prof. Dr. Mesut ŞÖHRET
		5	ASSESSING AMERICAN ENERGY DOMINANCE STRATEGY THROUGH TRUMP'S ALASKA LNG PROJECT	Assoc. Prof. Dr. Helin SARI ERTEM YL Öğrencisi Seda Nur ÇEP
		6	CLİMATE CHANGE AND THE SECURİTY DİLEMMA İN THE EUROPEAN UNİON'S FOREİGN POLİCY	Prof. Dr. Metin AKSOY Doç. Dr. Emre CENGİZ Prof. Dr. Ömer UĞUR
		7	CLIMATE-INDUCED MIGRATION AND SECURITY PARADIGM IN THE EUROPEAN UNION	Prof. Dr. Metin AKSOY Prof. Dr. Ömer UĞUR Doç. Dr. Emre CENGİZ

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş MERDAN**	1	THE IMPACT OF LEADERSHIP STYLE ON EMPLOYEE JOB SATISFACTION: AN EVALUATION OF TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP	Prof.Dr., ALİ ŞAHİN Dr. Öğr. Üyesi, MEHMET POLAT
		2	THE ASYMMETRIC EFFECT OF FIRM LIFE CYCLE ON COST BEHAVIOR: A LATENT PROFILE ANALYSIS OF BORSA ISTANBUL FIRMS	Dr. Abdullah Kürşat MERTER
		3	OPEN INNOVATION AND FINANCIAL PERFORMANCE: THE IMPACT OF COLLABORATION NETWORKS ON THE R&D REVENUE OF TECHNOPARK FIRMS	Prof. Dr. Murat ÇEMBERCİ Dr. Abdullah Kürşat MERTER
		4	AN ANALYSIS OF CONSUMER BEHAVIOR IN THE CONTEXT OF DIGITAL AND MOBILE PAYMENTS: A BIBLIOGRAPHIC ANALYSIS BASED ON WOS	Dr. Öğr. Üyesi Caner ÖNİZ Arş. Gör. Sema BACAK
		5	THE SLOW APPROACH IN CITY REPOSITIONING: A STUDY ON FINDIKLI'S CITTASLOW POTENTIAL	Doç. Dr. İsmail Tamer TOKLU Dr. Öğr. Üyesi Arzu TUYGUN TOKLU
		6	RISK FACTORS AND PREVENTIVE MEASURES IN THE BEEKEEPING SECTOR: A CASE STUDY ON TÜRKİYE	Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş MERDAN
		7	BEE VENOM PRODUCTION IN TÜRKİYE: SHORT-, MEDIUM-, AND LONG-TERM ACTION PLAN AND ROADMAP	Dr. Öğr. Üyesi Kurtuluş MERDAN

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Doç. Dr. Eda KÖSE**	1	OPEN BANKING SYSTEM AND ITS APPLICATIONS IN TÜRKİYE	Sevinç VICIR Doç. Dr. Sadullah ÇELİK Dr. Öğr. Üyesi Bilge DOĞANLI
		2	THE IMPORTANCE OF WORKPLACE BRAND PERCEPTION IN MOTIVATING HEALTHCARE WORKERS: A LITERATURE REVIEW	Sevinç VICIR Doç. Dr. Sadullah ÇELİK Dr. Öğr. Üyesi Bilge DOĞANLI
		3	A STUDY ON DETERMİNİNG THE ROLE OF DEMOGRAPHİC FACTORS İN INVESTORS' FİNANCİAL BEHAVİOR TENDENCİES	Ahmet BATMAZ Prof. Dr. Hasan UYGURTÜRK
		4	ŞİRKETLERİN HALKA ARZ OLMA NEDENLERİ	Öğr. Gör. Mert AKKAPLAN
		5	PETROL FİYATLARI VE DÖVİZ KURUNUN LOJİSTİK SEKTÖR HİSSE GETİRİLERİ ÜZERİNE ETKİSİ: ÇOK DEĞİŞKENLİ GARCH MODELLERİNDEN KANITLAR	Öğr. Gör. Dr. Esra KANGAL
		6	CRYPTO ASSETS FROM AN ISLAMIC FINANCE PERSPECTIVE	Doç. Dr. Eda KÖSE
		7	RELATIONSHIP OF RISK AND MATERIALS IN AUDIT	Doktora Öğrencisi Fatma Cesur Doç. Dr. Eda KÖSE

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Tao Guang Dr. Lucia Cirelli**	1	CHALLENGES IN LEGAL REGULATION OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS IN INNOVATION ACTIVITIES: AN INSTITUTIONAL APPROACH IN RUSSIA	Wei Zhang
		2	EXPLORING LEADERSHIP BEHAVIOR, SAFETY CULTURE, AND PERFORMANCE IN THE HEALTHCARE INDUSTRY: A COMPREHENSIVE STUDY	Liang Chen Mei Lin
		3	COMPARATIVE ANALYSIS: ASSESSING TRAINED INSPECTORS' PERFORMANCE ACROSS VARIED WORKLOADS VIA FEEDFORWARD VS. FEEDBACK TRAINING APPROACHES	Assoc. Prof. Dr. Anan Phongchai
		4	ASSESSING OPERATIONAL RISKS IN MALAYSIAN HIGHWAY PROJECTS	Assoc. Prof. Dr. Ahmad Zulkifli Dr. Nurul Huda
		5	BEST PRACTICES FOR CRAFTING TENDERS IN MALAYSIA'S BUILDING CONSERVATION PROJECTS	Dr. Siti Aishah
		6	THE INDEX OF SUSTAINABLE FUNCTIONALITY: A TOOL FOR ASSESSING SUSTAINABILITY	Assoc. Prof. Dr. Tao Guang Dr. Lucia Cirelli
		7	EXAMINING KNOWLEDGE SHARING BEHAVIOR IN E-COMMUNITIES THROUGH THE LENS OF TRANSACTION COST THEORY	Teresa Ju Chang Wu
		8	ADVANCING AN EFFICIENT FRAMEWORK FOR SECURE MOBILE APPLICATION DESIGN, DEVELOPMENT, AND UTILIZATION	Mohamed Serhan Rachida Abdelghani Rabeb Benharref

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Niran Chaiyaporn**	1	EXPLORING INTERNET GOVERNANCE THROUGH MULTIPLE STAKEHOLDERS: OPPORTUNITIES, CHALLENGES, AND ADVANCEMENTS	Prof. Dr. Lukas Meier
		2	THE IMPACT OF HARDINESS AND ALIENATION ON BURNOUT AND DATA ENTRY ERRORS IN RURAL GREEK HOSPITAL LABORATORIES	Eleni Papadopoulou Aphrodite Koulouri
		3	GUIDELINES AND REQUIREMENTS FOR DEVELOPING TEAM AWARENESS SYSTEMS	Dr. Henrik Larsen
		4	AN ANALYTICAL APPROACH TO THE ADOPTION OF WIRELESS AND INTERNET TECHNOLOGIES IN LOGISTICS	Assoc. Prof. Dr. Niran Chaiyaporn
		5	GENDER DIFFERENCES IN SEXUAL PERCEPTION AND BEHAVIOR AMONG MARRIED ILOCANOS	Maricel Bautista
		6	EXAMINING INTERNET USER BEHAVIOR AND ITS INFLUENCE ON MARRIAGE TABOOS: A SURVEY OF UNDERGRADUATE STUDENTS IN MASHHAD, IRAN	Fatemeh Rahimi Leila Mohammadi Saeid Khosravi
		7	UTILIZING PERSUASIVE TECHNOLOGY TO ENHANCE IT SECURITY AWARENESS AND USER BEHAVIOR: A PILOT STUDY	Md. Hasanuzzaman Dr. Tan Wei Ling Ms. Siti Nurhaliza

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Marcela López**	1	CROSS-CULTURAL ANALYSIS OF ALCOHOL CONSUMPTION PATTERNS AMONG ETHNIC GROUPS IN RURAL BANGLADESH	Dr. Farhana Akter
		2	STAKEHOLDER MAPPING IN THE FORMATION AND GROWTH OF INDEPENDENT CONSUMER GROUPS IN THAILAND	Dr. Kanya Chaiyaporn
		3	THE IMPACT OF SOCIAL INTEGRATION ON PERFORMANCE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY: A MULTI-COUNTRY STUDY	Carlos Mendes
		4	FRAMEWORK FOR DEVELOPING EDUCATIONAL GAMES BASED ON OUTCOME-ORIENTED LEARNING MODELS	Ratih Wulandari Dewi Kartika Sari Putri
		5	EVALUATING PEDAGOGICAL QUALITY IN DIGITAL LIBRARY RESOURCES: A CASE STUDY OF SOLARSPELL	Assoc. Prof. Dr. Marcela López
		6	EXPLORING ALTERNATE REALITY GAMES FOR EDUCATIONAL PURPOSES: A STUDY AT UNIVERSITY OF CAPE TOWN	Thandiwe Ndlovu
		7	INNOVATIVE APPROACHES TO ENGINEERING EDUCATION REFORM IN URBAN PLANNING AT TSINGHUA UNIVERSITY, CHINA	Li Wei Zhang Feng
		8	CROSS-CULTURAL ANALYSIS OF ALCOHOL CONSUMPTION PATTERNS AMONG ETHNIC GROUPS IN RURAL BANGLADESH	Dr. Farhana Akter

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Sofia Larsson**	1	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF INTERACTIVE QUIZ PLATFORMS IN ENHANCING STUDENT ENGAGEMENT	Lina Ahmed
		2	ANALYSIS OF LEARNING OUTCOMES IN ELECTRICAL ENGINEERING CURRICULA: A STUDY FOCUSING ON CIRCUIT THEORY	Dr. Samuel Ochieng
		3	DISTANCE EDUCATION AND CONTINUOUS PROFESSIONAL DEVELOPMENT: INSIGHTS FROM A GREEK UNIVERSITY CASE STUDY	Prof. Dr. Eleni Papadopoulos
		4	IDENTIFYING STRATEGIES TO IMPROVE STUDENT EMOTIONAL WELL-BEING THROUGH FEEDBACK ANALYSIS	Maria Petrova Anjali Singh
		5	TEACHERS' ATTITUDES TOWARD INCLUSIVE EDUCATION FOR STUDENTS WITH HEARING IMPAIRMENTS	PhD Candidate Kiran Sharma
		6	ADVANCING INTERNATIONAL SERVICE LEARNING THROUGH TECHNOLOGICAL INNOVATIONS FOR SUSTAINABILITY	Dr. Michael Johnson
		7	IMPLEMENTING FLIPPED CLASSROOM MODELS TO ENHANCE FRENCH LANGUAGE LITERACY IN HIGHER EDUCATION	Dr. Sofia Larsson

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Ricardo Silva**	1	EVALUATING THE EFFECT OF CLASS PARTICIPATION ON ACADEMIC PERFORMANCE: A CASE STUDY OF MECHANICAL ENGINEERING STUDENTS IN SOUTH AFRICA	Dr. Thandiwe Mokoena
		2	ENHANCING CIVIL ENGINEERING LABORATORY LEARNING THROUGH INTERACTIVE DIGITAL TOOLS	Assoc. Prof. Dr. Miguel Fernandez Dr. Lucia Alvarez
		3	DEVELOPING AUTONOMOUS LEARNING AGENTS USING SEQUENTIAL CONSTRUCTIVIST MODELS	Jean-Luc Moreau Sophie Dubois
		4	ASSESSING THE ECONOMIC IMPACT OF HUMANITIES EDUCATION IN PUBLIC UNIVERSITIES IN GHANA	Dr. Kwame Mensah
		5	MODELING TECHNOLOGICAL ADOPTION IN BUSINESS STUDENTS: A STUDY FROM COLOMBIA	Carlos Ramirez Maria Gomez
		6	INTERCULTURAL STRATEGIES FOR SECOND LANGUAGE ACQUISITION IN HIGHER EDUCATION: A PILOT STUDY IN PERU	Ana Lucia Torres Jorge Castillo
		7	DESIGNING ITERATIVE SELF-CORRECTION FRAMEWORKS FOR EDITORIAL WORKFLOWS	Ivan Kuznetsov Olga Smirnova
		8	IMPLEMENTING REALISTIC SIMULATION METHODS IN BRAZILIAN MEDICAL EDUCATION CURRICULA	Prof. Dr. Ricardo Silva
		9	EXPLORING THE COSTS AND BENEFITS OF COMMERCIALIZATION IN HIGHER EDUCATION: A CASE STUDY FROM NEW ZEALAND	Dr. Thandiwe Mokoena

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Dr. Magdalena Kowalczyk**	1	THE EVOLUTION OF JUDICIAL PRINCIPLES IN SOUTHEAST ASIAN LEGAL SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Ananda Suphakit
		2	RELIGIOUS FREEDOM AND EMPLOYEE RIGHTS: A CRITICAL ANALYSIS OF PORTUGUESE CONSTITUTIONAL LAW	Maria Fernandes
		3	CERTIFICATION PROCEDURES AND GOVERNMENT ACCOUNTABILITY IN ARMENIA	Aram Petrosyan
		4	EFFECTIVE GOVERNANCE MODELS WITHIN THE EUROPEAN UNION: PRINCIPLES AND PRACTICES	Dr. Magdalena Kowalczyk
		5	THE ROLE OF CONSERVATIVE WOMEN'S GROUPS IN SHAPING U.S. FOREIGN POLICY	Assoc. Prof. Dr. Emily Carter
		6	AUTOPSY STUDY ON ABDOMINAL TRAUMA IN ROAD ACCIDENT VICTIMS: MORPHOLOGICAL AND RISK ANALYSIS	Marko Jovanović
		7	IMPLEMENTING THE EUROPEAN FORENSIC SCIENCE VISION 2020: STRATEGIC APPROACHES IN LITHUANIA	Eglė Petrauskaitė Vidmantas Šimkus Snieguolė Vaitkevičiūtė
		8	MODERNIZING THE EUROPEAN COMPETITION NETWORK: STRATEGIC FRAMEWORKS AND FUTURE DIRECTIONS	Sigutė Žukauskaitė
		9	STRATEGIES FOR THE REVITALIZATION OF THE EUROPEAN COMPETITION NETWORK	Dr. Nadia Al-Farouq

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Dr. Supaporn Chaiyasit**	1	EXAMINING ADDITIONAL PREDICTORS OF DIETARY INTENTIONS IN TYPE 2 DIABETES PATIENTS	James Mwangi
		2	THE INFLUENCE OF LEARNING PREFERENCES ON CREATIVE IDEA GENERATION IN EDUCATIONAL SETTINGS	Nurul Huda
		3	EFFECTS OF COGNITIVE-BEHAVIORAL THERAPY AND SELF-CONCEPT INTERVENTIONS ON RESILIENCE AND AGGRESSION IN MALAYSIAN AT-RISK YOUTH	Mohammed Al-Farouq
		4	LIFESTYLE ANALYSIS OF GOVERNMENT EMPLOYEES IN THE ROYAL HOUSEHOLD DEPARTMENT: A BANGKOK CASE STUDY	Dr. Supaporn Chaiyasit
		5	THE IMPACT OF MEDITATIVE TRATAKA PRACTICE ON ANXIETY REDUCTION AMONG ADOLESCENTS	Anjali Desai
		6	IMPLEMENTATION OF SUFFICIENCY ECONOMY PRINCIPLES BY URBAN LEADERS IN BANGKOK: PERFORMANCE AND STRATEGIC ACTIVITIES	Assoc. Prof. Dr. Somchai Niran
		7	NEUROPLASTICITY AND ITS ROLE IN LIFE REHABILITATION AND RENEWAL	Leila Farahani
		8	PEER-BASED INTERVENTIONS TO ADDRESS SOCIAL COMMUNICATION CHALLENGES IN ADOLESCENTS WITH AUTISM: A LITERATURE REVIEW AND FUTURE DIRECTIONS	Christine Cole

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Eui Jun Jeong,**	1	INTELLIGENT ENERGY CONSUMERS: EXPLORING THE INTENTIONS BEHIND EMBRACING INNOVATIVE CONSUMPTION PATTERNS	Dr. Cecilia Kamila, Vincenzo Perri Corvello
		2	GENDER DISPARITIES IN MATHEMATICS ANXIETY AMONG STUDENTS	Wern Lin Yeo, Choo Kim Tan, Sook Ling Lew
		3	UTILIZING THE MMSE-2:EV FOR DIAGNOSTIC INSIGHTS IN COGNITIVE IMPAIRMENT: CASE STUDIES AND MONITORING	Cornelia- Munteanu Eugenia
		4	EXAMINING STUDENTS' BRAIN ELECTRICAL RESPONSES TO TEACHER'S EMOTIONAL CUES	Dr. Hye Rim Lee
		5	PERSONALITY TRAITS AND COMPULSIVE GAMING: EXPLORING THE INFLUENCE OF THE BIG FIVE	Assoc. Prof. Dr. Eui Jun Jeong,
		6	PARENTING APPROACHES AND HOUSEHOLD COMMUNICATION DYNAMICS AMONG COLLEGE STUDENTS	Lecture Pegah Farokhzad
		7	UTILIZING EMOTICONS IN COURTEOUS EXPRESSIONS OF GREETINGS AND APPRECIATION	Dr. Zuzana Komrsková

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Assoc. Prof. Dr. Yerlan Bekbolat**	1	METHODOLOGICAL APPROACHES TO ENHANCING MATHEMATICAL UNDERSTANDING USING VIRTUAL LEARNING ENVIRONMENTS IN UK SECONDARY SCHOOLS	Dr. Aigerim Zhanarbek
		2	INTEGRATING DIGITAL TOOLS TO PROMOTE COLLABORATIVE LEARNING AND STUDENT ENGAGEMENT	Nurul Aisyah Binti Mohamad
		3	THE IMPACT OF MULTIMEDIA EDUCATIONAL GAMES ON PRIMARY SCHOOL STUDENTS' LEARNING OUTCOMES	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Bekbolat
		4	MOBILE LEARNING STRATEGIES FOR INCLUSIVE EDUCATION IN MULTICULTURAL SETTINGS	Siti Noraini Binti Abdullah
		5	INTERACTIVE E-LEARNING PLATFORMS TO SUPPORT MATHEMATICS SELF-STUDY FOR PROFESSIONAL EXAM PREPARATION	Daulet Nursultan
		6	FEASIBILITY STUDY OF VIRTUAL BIOLOGY LABORATORIES IN HIGHER EDUCATION	Dr. Farah Azlina Binti Ismail
		7	EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY INTERVENTIONS ON SOCIAL AND PSYCHOLOGICAL FACTORS IN ADOLESCENTS: A STAGE-BASED MODEL	Nurzhan Tolegen
		8	ADVANCED VIRTUAL REALITY METHODS FOR ENHANCED FLUTE INSTRUCTION	Lim Wei Xian

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES December 19 - 21, 2025 MARDIN Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Assoc. Prof. Dr. Fatima Zohra Belkacem**	1	EXPLORING THE SOCIO-ECONOMIC IMPACTS OF INTERNAL MIGRATION IN IRAN: CHALLENGES AND POLICY RESPONSES	Prof. Dr. Shirin Etemadi Dr. Hossein Mohammadi Assis. Prof. Dr. Parisa Rashidi
		2	THE ROLE OF TRANSNATIONAL NETWORKS IN SHAPING MIGRATION EXPERIENCES AMONG IRANIAN DIASPORA	Dr. Farzaneh Parsa Assoc. Prof. Dr. Siamak Jahanbakhsh
		3	MIGRATION AND SECURITY: UNDERSTANDING BORDER DYNAMICS IN PAKISTAN'S PERIPHERAL REGIONS	Prof. Dr. Habib Ullah Khan Dr. Sana Javed Muhammad Adeel
		4	GENDER AND MIGRATION: NAVIGATING OPPORTUNITIES AND VULNERABILITIES FOR PAKISTANI WOMEN	Assis. Prof. Dr. Saleema Khatoon Dr. Maria Qureshi Hina Nazir
		5	YOUTH MIGRATION AND EDUCATION ASPIRATIONS AMONG ALGERIAN RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Mourad Bouzid Nassim Daoud
		6	SOCIAL INTEGRATION OF SUB-SAHARAN MIGRANTS IN ALGERIAN URBAN CENTERS	Assoc. Prof. Dr. Fatima Zohra Belkacem Dr. Ahmed Meftah Nadia Benhamou
		7	CIRCULAR MIGRATION AND RETURN DYNAMICS: THE CASE OF AZERBAIJANI LABOR MIGRANTS	Prof. Dr. Kamran Huseynov Vusal Aliyev Vafa Guliyeva Leyla Babayeva

ANADOLU 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
December 19 - 21, 2025
MARDIN
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

21 Aralık / Dec 21, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	**Dr. Rajiv Desai**	1	EQUITY IN EDUCATION POLICY IMPLEMENTATION ACROSS URBAN AND RURAL SCHOOLS IN IRAN	Prof. Dr. Reza Azizi Fatemeh Ghadiri
		2	DIGITAL TECHNOLOGY INTEGRATION AND TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT IN IRANIAN HIGHER EDUCATION	Dr. Laleh Etemad Assoc. Prof. Dr. Mahmoud Daryaei Samira Parsa Ali Soufi
		3	MULTILINGUAL EDUCATION AND INTERCULTURAL COMPETENCE DEVELOPMENT IN INDIAN URBAN SCHOOLS	Prof. Dr. Suresh Mehra Dr. Priya Banerjee
		4	PROJECT-BASED LEARNING INITIATIVES AND STEM MOTIVATION IN INDIAN SECONDARY EDUCATION	Dr. Anand Bhatia Anisha Singh Prof. Dr. Kavita Subramanian Assoc. Prof. Dr. Deepak Nair
		5	UNIVERSITY-GOVERNMENT PARTNERSHIPS FOR EDUCATIONAL REFORM IN RURAL INDIA	Dr. Rajiv Desai
		6	THE IMPACT OF BILINGUAL EDUCATION PROGRAMS ON STUDENT LITERACY IN ALGERIAN PRIMARY SCHOOLS	Dr. Yasmine Benali Prof. Dr. Houcine Amrani Assis. Prof. Dr. Layla Cherif
		7	EVALUATING THE USE OF EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN ALGERIAN HIGHER EDUCATION	Prof. Dr. Amine Boukhalfa Dr. Nadia Zerguini
		8	INCLUSIVE PEDAGOGY STRATEGIES FOR DIVERSE CLASSROOMS IN ITALIAN ELEMENTARY SCHOOLS	Assis. Prof. Dr. Lucia Romano Prof. Dr. Giovanni Ferri
		9	RETHINKING HIGHER EDUCATION ADMISSIONS: HOLISTIC STRATEGIES IN ITALIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Stefano Mancini Elena Vitale Assoc. Prof. Dr. Marco Santoro Dr. Silvia Esposito Assis. Prof. Dr. Paolo Bellini
		10	DIGITAL GAME-BASED LEARNING TO ENHANCE ENGAGEMENT IN ITALIAN SECONDARY EDUCATION	Dr. Paolo Grimaldi Giulia Fabbri Prof. Dr. Alessandra Russo

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Contents

BİTKİLERDE BÖCEK ZARARINA KARŞI MİKORİZAL FUNGUSLARIN ETKİLERİ 1

MİKROBİYOLOJİ, ORGANİK MADDE VE SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜBRELEME YAKLAŞIMLARININ YENİLEYİCİ TARIM İÇİN ENTEGRASYONU 10

BİTKİ GENETİK KAYNAKLARINDAN YARARLANARAK ÇEVRESEL ZORLUKLAR KARŞISINDA ÜRÜN VERİMİNİ VE DAYANIKLILIĞINI ARTIRMA 22

EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS AND PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) APPLICATIONS ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF PICKLING CUCUMBER (*Cucumis Sativus* L.) GROWN UNDER GREENHOUSE CONDITIONS 34

KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ HAM PROTEİN, HAM YAĞ VE KURU MADDE İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ 42

KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ ADF-NDF İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ 52

KIRSAL ALANDAKİ ATIKLARIN TARIMSAL YAPILARDA İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI 59

KURAKLIĞA DAYANIKLI ŞEKER PANCARI GENOTİPLERİNİN TESPİTİNDE BASİT, HIZLI VE DÜŞÜK MALİYETLİ SELEKSİYON YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ 66

ADVERSE EVENT SIGNAL DETECTION IN ANTI-OBESITY DRUGS USING MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY: A MULTIVARIATE PHARMACOVIGILANCE APPROACH 80

INTEGRATED COMPARATIVE METABOLITE PROFILING of GLP-1 RECEPTOR AGONISTS USING Δm, m/z, and STRUCTURAL SIMILARITY ANALYSES: AN ANALYTICAL CHEMISTRY APPROACH OF PHARMACEUTICAL RELEVANCE 89

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND ANTI-OBESITY STUDIES OF 2-OXO-2H-CHROMEN-4-YL 4-FLUOROBENZENESULFONATE 100

SUDA ÇÖZÜNÜR YENİ ÇİNKO(II) FTALOSİYANİN SENTEZİ 112

KAHVE ÇEKİRDEKLERİNDEKİ TOKSİK ESER ELEMENTLERİN MİKROEKSTRAKSİYONU 113

TOKSİK ESER ELEMENT TAYİNİNDE YENİ YEŞİL ÇÖZÜCÜ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI 124

OTO BAKIM SEKTÖRÜNE YÖNELİK KALICI ETKİ BIRAKACAK SU BAZLI SU İTİCİ KAPLAMA ÜRÜNÜ HAMMADDESİNİN GELİŞTİRİLMESİ 136

DENİZ KAYNAKLI HİDROLİZE KOLAJENİN KOZMETİK FORMÜLASYONLARA ADAPTASYONU: SÜRDÜRÜLEBİLİR HAMMADDELERE YÖNELİK AR-GE YAKLAŞIMI 138

HİDROJEL YAPILI POLİMER KOMPOZİTİN TERMAL BOZUNMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ 140

D-A TÜREVLİ YAPILARDA TAUTOMERİZMİN OLED PERFORMANSINA ETKİSİ 151

FURAN MODİFİKASYONLU DTP TÜREVLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİNİN MOLEKÜLER KENETLENME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI 157

Comparative Analysis of Total Phenolic Content, Phenolic Profile, Antioxidant Activity, and Protein Concentration of Urtica dioica L. Seed Extracts 169

SUDAN HAVAYA ISI POMPALARINDA KULLANILAN R410A SOĞUTUCU AKIŞKANINA ALTERNATİF OLUŞTURABİLECEK SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN PERFORMANS VE MALİYETLERİNİN TEORİK OLARAK DEĞERLENDİRMESİ 177

GEOMETRIC OPTIMIZATION AND HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN ROTATING CYLINDRICAL FLOW 188

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF DESIGN PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF AN AIR-SOURCE HEAT PUMP CONDENSER 196

ESNEK İKİ UZUVLU DÜZLEMSEL MANİPÜLATÖRÜN KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ 208

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF THE EFFECTS OF TOOL NOSE RADIUS ON ENERGY CONSUMPTION AND TOOL VIBRATION FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MANUFACTURING 223

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CUTTING CONDITIONS AFFECTING SURFACE QUALITY AND VIBRATION 234

STRUCTURAL ANALYSIS AND LIGHTWEIGHTING STUDY OF M2-CLASS COMMERCIAL VEHICLE SEATS 235

AN NTOP CONNECTOR BASED INTEGRATION OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES INTO NTOP 245

MECHANICAL COMPARISON OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES AND TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES UNDER MATCHED MASS AND ENVELOPE VOLUME 251

YAŞLILARDA KIRILGANLIĞIN YAŞAM KALİTESİ İLE İLİŞKİSİ 258

YAŞLILARDA KIRILGANLIĞIN PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ 266

SOSYAL DESTEĞİN ÖRGÜTSEL DESTEĞE VE ÖRGÜTSEL GÜVENE ETKİSİ: SAĞLIK ÇALIŞANLARI ÜZERİNE BİR UYGULAMA 274

ALGILANAN SAĞLIK HİZMET KALİTESİNİN POLİKLİNİK HASTALARININ DAVRANIŞSAL NİYETLERİ ÜZERİNE ETKİSİNDE HASTA GÜVENİNİN ARACILIK ROLÜ 284

DİJİTAL YOKSUNLUK VE DİJİTAL AYRIMIN YAŞLI RUH SAĞLIĞINA ETKİSİ: SOSYAL HİZMET MÜDAHALELERİ 294

FAST-FOOD CONSUMPTION & EARLY PUBERTY 296

KANSER VE BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI 298

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÖĞRENCİ SPORCULAR İÇİN HAFTALIK MENÜ PLANLAMASI: BESİN İHTİYAÇLARI VE MALİYET OPTİMİZASYONU 306

WEB TABANLI DİJİTAL DAYANIŞMA PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ, ANALİZİ VE TASARIMI: AFET YARDIMLAŞMA PLATFORMU 315

UZAKTAN EĞİTİMDE ETKİLEŞİM VE REHBERLİK İÇİN WEB TABANLI EĞİTİM PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ: MENTORUM 317

A BIBLIOMETRIC STUDY OF TRANSFORMERS AND LARGE LANGUAGE MODELS IN SENTIMENT ANALYSIS 321

ÖĞRENCİ STRES DÜZEYLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ VE AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE YORUMLANMASI 334

DAMB: A DYNAMIC ADAPTIVE MULTI-MODEL BENCHMARKING FRAMEWORK FOR ABSTRACTIVE TEXT SUMMARIZATION 350

THE ISSUE OF UNDESIRABLE INPUT-OUTPUT IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS 361

CRYPTOCURRENCIES, EQUITIES AND GOLD: DIVERSIFICATION POTENTIAL AND RISK–RETURN TRADE-OFFS IN SIMPLE MIXED PORTFOLIOS 363

ANALYTICAL SOLUTIONS TO FRACTIONAL ORDER INITIAL VALUE PROBLEMS 375

A NUMERICAL APPROACH FOR THE ATANGANA-BALEANU-CAPUTO FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATION UTILIZING FRACTIONAL ADAMS-BASHFORTH TYPE METHOD 385

WORLDVİEW-2 VE ICESAT-2 VERİLERİYLE ÜRETİLEN BATİMETRİ HARİTASI DOĞRULUK ANALİZİ: İZMİR GÜLBAHÇE KÖRFEZİ ÖRNEĞİ 393

SERAMİK TOZU KATKILI DOĞAL HİDROLİK KİREÇ ESASLI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ .. 395

İNŞAAT YIKINTI ATIĞI AGREGASI İLE İMAL EDİLEN GEÇİRİMLİ KAZIĞIN KOHEZYONSUZ ZEMİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ 406

KAZIKLI TEMEL SİSTEMLERİNDE KAZIKLAR ARASI MESAFENİN BLOK YÖNTEMİ HESAPLAMALARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ 413

BİNA ENERJİ SİMÜLASYONLARINDA KALİBRASYON ARAÇLARININ GELİŞİMİ VE GELECEK PERSPEKTİFİ 422

TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM: BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK ANALİZ 432

KARABÜK İLİNDE AKILLI ULAŞIM UYGULAMALARINDA YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMİNİN İNCELENMESİ 453

Na_2SO_4 ETKİSİNDEKİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA NANO SİLİKA KULLANIMIN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ 465

KİREÇ KATKISIZ ÖRGÜ HARÇLARINDA PERLİT VE PONZA TOZUNUN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ..... 474

UNDERSTANDING THE SOCIAL DIMENSION TO ECOLOGICAL DEGRADATION – A CASE STUDY OF DELHI-NCR 483

GELİŞMİŞ CEPHELERDE HAVALANDIRMA PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: KAPSAMLI LİTERATÜR TARAMASI 485

TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ BİNALARDA DIŞ DUVAR MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ 497

TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ ÇATI KATI DÖŞEME MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ 520

TRANSFORMATION OF IRRATIONAL FORMS INTO SPACE 538

Transformation Of Basic Geometric Forms To Space 546

KABLO SAĞLIK DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE ÇOK SINIFLI OLARAK SINIFLANDIRILMASI 553

GENİŞ BANT GÜÇ SAYAÇLARINDA ÖLÇÜM HATALARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM 561

TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISININ TEKNİK VE ENERJİ ODAKLI DEĞERLENDİRİLMESİ 571

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA AERODİNAMİK TASARIMIN ŞEHİR İÇİ ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ 589

ENDÜSTRİYEL MOTOR KALKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ 606

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TABANLI MOBİL BAKIM ASİSTANI 608

ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ BİNALARINDA ENERJİ TÜKETİMİ BAZLI CO_2 EMİSYON ANALİZİ 614

MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDEKİ BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSININ ANALİZİ 625

BURSA'DA TOPLU TAŞIMADAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARININ HESAPLANMASI.... 637

TÜRKİYE'DE HAVA–TOPRAK ORTAMLARINDAKİ PAH VE PCB'LERİN DAĞILIMI VE FUGASİTE ANALİZİ... 646

WEB TABANLI DİJİTAL DAYANIŞMA PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ, ANALİZİ VE TASARIMI: AFET YARDIMLAŞMA PLATFORMU 664

UZAKTAN EĞİTİMDE ETKİLEŞİM VE REHBERLİK İÇİN WEB TABANLI EĞİTİM PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ: MENTORUM 666

3B BASKI PCL YAPILARININ POLİDOPAMİN KAPLAMA İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ 670

EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE POLİKAPROLAKTON HİDROKSİAPATİT KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ 672

MİGREN TANILI HASTALARDA HABENULAR ÇEKİRDEK HACMİ VE ASİMETRİSİNİN VOLUMETRİK ANALİZİ 673

DROUGHT MONITORING AT MARDİN STATION USING AGGREGATE DROUGHT INDEX UTILIZING NASA POWER DATA 683

GÖKÇE FPV KAMİKAZE İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ 689

ŞİMAL YILDIZI ACİL DURUM İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ ŞİMAL YILDIZI EMERGENCY UNMANNED AERIAL VEHICLE DEVELOPMENT 697

GRAM NEGATİF BASİLLERDE ANTİBİYOTİK DİRENCİ: 2000-2025 YILLARI ARASI KARŞILAŞTIRMALI BİR GENEL BAKIŞ 706

MADDE BAĞIMLILIĞINA İLİŞKİN GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: ÇOK DİSİPLİNLİ BİR DERLEME 710

FİZYOTERAPİDE TELE-REHABİLİTASYON 715

SKOLYOZ DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN MOBİL UYGULAMALAR 723

KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİNDE ROY UYUM MODELİ TEMELLİ HEMŞİRELİK BAKIMININ ÖNEMİ 730

YAŞLI RUH SAĞLIĞI HİZMETLERİNDE GEROPSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ 739

EGZERSİZİN ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİNE ETKİSİ: MEKANİZMALAR VE KLİNİK BULGULAR 749

NÖRODEJENERATİF SÜREÇLERDE OKSİDATİF STRESİN ETKİSİ: PARKİNSON HASTALIĞI 753

TERMAL SAĞLIK TURİZMİ DESTİNASYON İMAJI: SAĞLIK BAKANLIĞI KAPLICA İŞLETME RUHSATLI TERMAL TESİSLER ÜZERİNDE BİR UYGULAMA 757

SAĞLIK SEYAHATİNDE ALGILANAN DEĞERİN YENİDEN ZİYARET ETME NİYETİ ÜZERİNE ETKİSİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ 767

SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNDE FİNANSAL OKURYAZARLIK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ 776

SAĞLIK OKURYAZARLIĞININ ALT BOYUTLARI AÇISINDAN SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNİN YETERLİKLERİ 787

SAĞLIK ÇALIŞANLARININ DUYGUSAL BULAŞMA DÜZEYİ İLE MERHAMET DÜZEYİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE KESİTSEL BİR ARAŞTIRMA 801

COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE FEMALE GENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS 820

COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE MALE UROGENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS 824

DOĞU VE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİN DE BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİNİN GÜNCEL DURUMU VE GELECEĞE YÖNELİK STRATEJİK YAKLAŞIMLAR 828

YAPAY TOHUMLAMA VERİMLİLİĞİNİN İKLİMSEL YAĞIŞ DÜZENSİZLİKLERİ VE SU KULLANIM STRATEJİLERİY İLE ETKİLEŞİMİ 835

ŞAP ve SIĞIRLARIN ÜÇGÜN HASTALIKLARININ AYNI ANDA GÖRÜLMESİNİN HAYVANCILIK ve HALK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ 844

ÜÇ GÜN HASTALIĞI; BOVINE EPHEMERAL FEVER 852

KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE EKSENEL ve TRANSVERS YÖNLÜ LİFLERİN KARAKTERİSTİK ETKİLERİ 860

SFERO DÖKME DEMİR SÜSPANSİYON KOLU BİLEŞENİNİN FREZELEME OPERASYONU İÇİN İŞLEME FİKSTÜR TASARIMININ OPTİMİZASYONU 868

BAL PETEĞİ YAPILI KOMPOZİT MALZEMELERDE DEMİR TOZU DOLGUSU ETKİSİNİN İNCELENMESİ 882

DÜŞÜK EMİSYONLU (LOW-E) KAPLAMALI CAMLARIN TERMAL PERFORMANSI VE U-DEĞERİ OPTİMİZASYONU 898

ENHANCEMENT OF THE ELECTROCHEMICAL CORROSION PERFORMANCE OF Al6061 ALLOY COATED WITH Si-BASED CERAMICS BY ELECTROPHORETIC DEPOSITION 899

GÖKNARDAN ÜRETİLMİŞ ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAPLARDA ANİZOTROPİNİN VİDA ÇEKME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ 912

Kuraklık Stresi Altındaki Aster (*Aster amellus* L.) Bitkisine Giberellik Asit (GA_3) Uygulamasının Morfolojik Özellikleri ve Renk Parametreleri Üzerine Etkileri 921

ARTHROBACTER UYGULAMALARININ ASTER (*Aster amellus* L.) FİDE GELİŞİMİNE ETKİLERİ 931

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN MEYVE TÜRLERİNDE BOR UYGULAMALARININ ETKİLERİ 941

AHUDUDU ÇEŞİTLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ ADAPTASYON DURUMU 949

BROKOLİ MİKRO FİLİZİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BAZI ÖN UYGULAMALARIN FİZİKSEL KALİTE VE VERİM ÜZERİNE ETKİLERİ 958

DOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) FİDELERİNİN MAKRO ELEMENT ALIMINA SİLİSYUM VE POTASYUM UYGULAMALARININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI 966

DİFLUBENZURONUN KRONİK MARUZİYETİNİN *Daphnia magna* ÜZERİNDEKİ EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ 973

ATRAZİN MARUZİYETİNİN *Daphnia magna*'da OKSİDATİF STRES YANITLARI 981

KIL KEÇİS OĞLAKLARINDA DOĞUMDAN SÜTTEN KESİME KADAR BÜYÜME VE HAYATTA KALMA DURUMUNUN KANONİK BİPLOT TABANLI RİSK PROFİLİ ANALİZİ 988

FİLOGENETİK ANALİZLERDE DNA DEĞİŞİM MODELLERİ 990

KOYUNLARDA MOLEKÜLER FİLOGENETİK ANALİZLER 994

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANOSIZED POLYSTYRENE APPLICATION ON OXIDATIVE STRESS IN ZEBRAFISH GILL TISSUE 999

GELENEKSEL TIPTAN MODERN FİTOTERAPİYE: BALIKLARDA AYNISEFA (*CALENDULA OFFİCİNALİS*) VE ACIBADEM (*PRUNUS DULCİS*) BİTKİLERİNİN ANTİİNFLAMATUAR ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ 1000

TUNCELİ SU KAYNAKLARINDA MİKROBİYAL ÇEŞİTLİLİK VE BALIK MİKROBİYOTASI 1013

HYPOADRENOCORTICISM IN CATS AND TREATMENT OPTIONS 1026

CONSERVATION OF THE MUNZUR TROUT (*Salmo munzirucus*): GENUINE CONSERVATION OR AN APPROACHING LOSS? 1034

SEX DIFFERENCES IN DIETARY PREFERENCES AND FEEDING STRATEGIES IN FISH 1044

JEOLOJİK AFETLERİN İZLENEMSİ VE BELİRLENMESİNDE INSAR YAKLAŞIMI: TÜRKİYE VE İRAN ÖRNEKLERİYLE BİR DEĞERLENDİRME 1057

HAVACILIK OPERASYONLARINDA İNSAN FAKTÖRÜ: PSİKOLOJİK ETMENLERİN GÖRECE ÖNEMİ 1058

YERALTI MADEN İŞ MAKİNASI OPERATÖRLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNİN ARTTIRILMASI 1071

ARTVİN İLİNDE MADENCİLİK AKTİVİTELERİ 1085

DERİ VE TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE DÖNGÜSEL MODELLER: ATIK YÖNETİMİNDEN BİYOMALZEMELERE GEÇİŞ 1108

BÜYÜKBAŞ HAYVAN IRKLARINA ÖZGÜ DERİ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: SİMENTAL, HOLSTEİN VE HEREFORD ÖRNEKLERİ 1117

HEALTH IMPACTS OF URBAN AIR POLLUTION ON RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN AZERBAIJAN CITIES 1127

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR REDUCING CHILDHOOD MALNUTRITION RATES IN RURAL AZERBAIJAN 1128

ADVANCES IN TELEMEDICINE FOR CARDIOVASCULAR DISEASE MANAGEMENT IN IRANIAN POPULATIONS 1129

GESTATIONAL DIABETES SCREENING AND MANAGEMENT PROTOCOLS IN IRANIAN WOMEN 1130

PREVALENCE AND RISK FACTORS OF HYPERTENSION IN ALGERIAN URBAN ADULTS 1131

ROLE OF VACCINATION CAMPAIGNS IN PREVENTING INFECTIOUS DISEASE OUTBREAKS IN ALGERIA 1132

IMPACT OF MIDWIFERY-LED CARE ON MATERNAL OUTCOMES IN RURAL NIGERIAN COMMUNITIES1133

EFFECTIVENESS OF SIMULATION-BASED TRAINING IN IMPROVING MIDWIVES' EMERGENCY SKILLS 1134

MATERNAL NUTRITION COUNSELING BY MIDWIVES AND ITS EFFECT ON GESTATIONAL WEIGHT GAIN 1135

MIDWIVES' ROLE IN PROMOTING VAGINAL BIRTH AFTER CESAREAN IN KAZAKHSTAN 1136

PREVALENCE OF POSTPARTUM DEPRESSION AND MIDWIFERY SCREENING PROTOCOLS IN ALGERIA 1137

EVALUATION OF MIDWIFERY HOME VISITATION PROGRAMS FOR NEONATAL MORTALITY REDUCTION 1138

INTRAPARTUM CONTINUOUS SUPPORT BY MIDWIVES AND LABOR OUTCOMES IN RUSSIAN MATERNITIES 1139

TELE-MIDWIFERY IMPLEMENTATION FOR RURAL ACCESS IN SIBERIAN REGIONS 1140

BREASTFEEDING SUPPORT PROTOCOLS BY MIDWIVES AND INFANT GROWTH TRAJECTORIES 1141

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL MESOPOROUS SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY APPLICATIONS 1142

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING ALGERIAN DATE PALM EXTRACTS AS REDUCING AGENTS 1143

CATALYTIC PERFORMANCE OF COPPER-BASED METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CO2 REDUCTION 1144

DEVELOPMENT OF CHITOSAN-BASED ADSORBENTS FOR HEAVY METAL REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS 1145

SYNTHESIS OF NOVEL SCHIFF BASE COMPLEXES FOR ANTICANCER ACTIVITY EVALUATION 1146
ELECTROCHEMICAL SENSORS BASED ON CARBON NANOTUBES FOR PESTICIDE DETECTION 1147
HIGHLY EFFICIENT RUTHENIUM COMPLEXES FOR OLEFIN METATHESIS CATALYSIS 1148
PHOTODYNAMIC THERAPY AGENTS BASED ON PORPHYRIN-FULLERENE DYADS 1149
SUPRAMOLECULAR POLYMERIZATION OF PILLARARENE-BASED ROTAXANES FOR GAS STORAGE 1150
DEVELOPMENT OF NANO-COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS IN OIL INDUSTRY 1151
BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR SUSTAINABLE PACKAGING SOLUTIONS 1152
SYNTHESIS OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR EFFICIENT CARBON DIOXIDE CAPTURE 1153
NANOSTRUCTURED TITANIUM DIOXIDE COATINGS FOR PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION ... 1154
ADVANCED CERAMIC MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE TURBINE APPLICATIONS 1155
FUNCTIONALIZED GRAPHENE AEROGELS FOR ENERGY STORAGE ELECTRODES 1156
HIGH-ENTROPY ALLOYS FOR CORROSION-RESISTANT MARINE APPLICATIONS 1157
MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS FOR VIBRATION DAMPING SYSTEMS 1158
EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN ROMANIAN POULTRY FARMS 1159
PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN ROMANIAN SHEEP 1160
DIAGNOSTIC CHALLENGES IN AFRICAN SWINE FEVER CONTROL IN ROMANIAN WILDLIFE 1161
MASTITIS PATHOGEN PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ROMANIAN DAIRY COWS 1162
ANTHELMINTIC EFFICACY AGAINST HAEMONCHUS CONTORTUS IN NIGERIAN GOATS 1163
NEWCASTLE DISEASE VIRUS GENOTYPES CIRCULATING IN NIGERIAN POULTRY 1164
TICK-BORNE HEMOPARASITES IN NIGERIAN CATTLE HERDS 1165
ECTOPARASITE MANAGEMENT STRATEGIES IN TAJIKISTAN SHEEP FLOCKS 1166
BRUCELLA MELITENSIS PREVALENCE IN TAJIKISTAN DAIRY GOATS 1167
NOVEL NANOPARTICLE FORMULATIONS FOR ENHANCED BIOAVAILABILITY OF POORLY SOLUBLE ANTIFUNGAL DRUGS 1168
PHARMACOGNOSTIC EVALUATION AND STANDARDIZATION OF ENDANGERED MOLDOVAN MEDICINAL PLANTS 1169
DEVELOPMENT OF ORALLY DISSOLVATING FILMS FOR PEDIATRIC ANTIHYPERTENSIVE THERAPY 1170
ETHANOBOTANICAL SURVEY AND ANTIMALARIAL ACTIVITY SCREENING OF INDONESIAN RAINFOREST PLANTS 1171
FORMULATION AND EVALUATION OF MICROEMULSION-BASED TRANSDERMAL NICOTINE DELIVERY SYSTEMS 1172
BIOANALYSIS AND PHARMACOKINETIC MODELING OF TETRAHYDROCURCUMIN IN RATS 1173
SYNTHESIS AND ANTIBACTERIAL EVALUATION OF NOVEL QUINOLINE-CARBAMATE HYBRIDS 1174

LIPOSOMAL CO-DELIVERY OF DOXORUBICIN AND MRP1 SIRNA FOR OVARIAN CANCER THERAPY ... 1175

DESIGN AND OPTIMIZATION OF GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR 5G BASE STATIONS ... 1176

MACHINE LEARNING ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR INDUSTRIAL IoT SENSOR NETWORKS ... 1177

DEVELOPMENT OF FLEXIBLE ORGANIC THIN-FILM TRANSISTORS FOR WEARABLE HEALTH MONITORING ... 1178

OPTIMIZATION OF MPPT ALGORITHMS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER PARTIAL SHADING ... 1179

DESIGN OF RECONFIGURABLE MIMO ANTENNAS FOR 5G MILLIMETER-WAVE HANDSETS ... 1180

FAULT-TOLERANT CONTROL STRATEGIES FOR DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS IN WIND FARMS ... 1181

AI-OPTIMIZED ENERGY MANAGEMENT FOR SMART GRID MICROGRIDS IN ARID CLIMATES ... 1182

LOW-POWER VLSI ARCHITECTURE FOR EDGE AI IN INDUSTRIAL IoT APPLICATIONS ... 1183

ADVANCES IN FIXED POINT THEORY FOR NONLINEAR OPERATORS IN METRIC SPACES ... 1184

NUMERICAL SOLUTION OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS USING ADAPTIVE SPECTRAL METHODS ... 1185

MODELING EPIDEMIC SPREAD USING STOCHASTIC DIFFERENCE EQUATIONS ON RANDOM NETWORKS ... 1186

GLOBAL STABILITY ANALYSIS OF DELAYED NONLINEAR SYSTEMS USING LYAPUNOV–KRAŠOVSKII FUNCTIONALS ... 1187

FINITE ELEMENT APPROXIMATION OF ELLIPTIC PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS ON IRREGULAR DOMAINS ... 1188

OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION NETWORKS USING GRAPH THEORY AND INTEGER PROGRAMMING ... 1189

SPECTRAL PROPERTIES OF SCHRÖDINGER OPERATORS WITH QUASI-PERIODIC POTENTIALS ... 1190

ALGEBRAIC GEOMETRY APPROACHES TO ERROR-CORRECTING CODES OVER FINITE FIELDS ... 1191

NONLINEAR DYNAMICS AND CHAOS IN COUPLED MAP LATTICES WITH DELAYED FEEDBACK ... 1192

GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR ENDANGERED HIMALAYAN MEDICINAL PLANTS IN INDIA ... 1193

MICROBIAL BIOREMEDIATION POTENTIAL OF RHIZOSPHERIC BACTERIA IN ARSENIC-CONTAMINATED GROUNDWATER IN WEST BENGAL ... 1194

PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTICANCER ACTIVITY OF MARINE ALGAE FROM ANDAMAN ISLANDS ... 1195

CRISPR/CAS9-MEDIATED GENOME EDITING FOR BLAST RESISTANCE IN RICE VARIETIES FROM CHINA ... 1196

MITOCHONDRIAL GENOME DIVERSITY AND PHYLOGENETIC RELATIONSHIPS IN CHINESE ENDANGERED CRANE SPECIES ... 1197

NANOPARTICLE-MEDIATED GENE SILENCING FOR PEST RESISTANCE IN COTTON CROPS ... 1198

SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES FOR PRODUCING HIGH-VALUE TERPENOIDS IN ENGINEERED YEAST FROM SINGAPORE ... 1199

METAGENOMIC ANALYSIS OF URBAN BEE MICROBIOMES AND POLLINATOR HEALTH IN TROPICAL SINGAPORE 1200

CRISPR-BASED EPIGENETIC EDITING FOR ENHANCING DROUGHT TOLERANCE IN OIL PALM 1201

GENETIC REGULATION OF NEURAL CREST CELL MIGRATION DURING EARLY VERTEBRATE EMBRYOGENESIS..... 1202

EPIGENETIC CONTROL OF IMPRINTED GENES IN PREIMPLANTATION MAMMALIAN EMBRYOS 1203

MOLECULAR MECHANISMS OF HEART FIELD PATTERNING IN EARLY CHICK EMBRYOS 1204

CRISPR-BASED CORRECTION OF MONOGENIC BLOOD DISORDERS IN HUMAN INDUCED PLURIPOTENT STEM CELL–DERIVED EMBRYOID BODIES..... 1205

SINGLE-CELL TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF HUMAN BLASTOCYSTS TO MAP LINEAGE SEGREGATION 1206

FUNCTIONAL ANALYSIS OF HOX GENE CLUSTERS IN VERTEBRAL COLUMN PATTERNING USING ZEBRAFISH MODELS..... 1207

GENETIC BASIS OF NON-SYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE IN AZERBAIJANI FAMILIES: A WHOLE-EXOME APPROACH 1208

CHARACTERIZATION OF MITOCHONDRIAL DNA VARIANTS IN EARLY EMBRYONIC DEVELOPMENT AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON IMPLANTATION 1209

ROLE OF WNT SIGNALING IN PRIMORDIAL GERM CELL SPECIFICATION IN A MURINE EMBRYONIC STEM CELL MODEL..... 1210

BYZANTINE INFLUENCES ON BULGARIAN MEDIEVAL CHURCH ARCHITECTURE IN THE 10TH-12TH CENTURIES 1211

OTTOMAN MOSQUE DESIGN EVOLUTION IN BULGARIAN CITIES DURING THE 16TH-18TH CENTURIES 1212

BRUTALIST CONCRETE ARCHITECTURE AND ITS SOCIO-POLITICAL CONTEXT IN SOCIALIST BULGARIA 1213

ISLAMIC GEOMETRIC PATTERNS IN ALGERIAN SAADIAN MOSQUE DECORATION SYSTEMS 1214

FRENCH COLONIAL VILLA TYPOLOGIES AND CLIMATIC ADAPTATION IN ALGERIAN COSTAL CITIES.... 1215

POST-WAR JAPANESE METABOLISM MOVEMENT AND URBAN GROWTH STRUCTURES IN TOKYO.... 1216

TRADITIONAL JAPANESE TEMPLE CARPENTRY AND SEISMIC RESILIENCE PRINCIPLES 1217

ZEN GARDEN DESIGN PRINCIPLES AND SPATIAL PERCEPTION IN KYOTO TEMPLE LANDSCAPES 1218

INTEGRATED WASTEWATER TREATMENT STRATEGIES FOR NUTRIENT REMOVAL IN BULGARIAN MUNICIPAL PLANTS..... 1219

ASSESSMENT OF URBAN AIR QUALITY AND TRAFFIC-RELATED POLLUTION IN SOFIA USING LOW-COST SENSOR NETWORKS..... 1220

EVALUATION OF RIVER WATER QUALITY AND ECOSYSTEM HEALTH IN THE MARITSA BASIN UNDER AGRICULTURAL PRESSURE 1221

SOLID WASTE MANAGEMENT CHALLENGES AND INFORMAL RECYCLING PRACTICES IN ALGERIAN MEDIUM-SIZED CITIES 1222

ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN COASTAL ALGERIAN AQUIFERS..... 1223

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION WITH ENERGY RECOVERY IN JAPANESE CITIES 1224

URBAN STORMWATER MANAGEMENT AND GREEN INFRASTRUCTURE APPLICATIONS IN TOKYO RESIDENTIAL DISTRICTS 1225

OPTIMIZATION OF ENERGY-EFFICIENT AERATION SYSTEMS IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN JAPAN 1226

SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH 1227

FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA 1228

APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES 1229

UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS 1230

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE-FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA 1231

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS 1232

OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD 1233

EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS 1234

STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN .. 1235

PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA 1236

APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA 1237

MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS 1238

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE 1239

GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS 1240

OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD 1241

OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS 1242

ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION 1243

EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE 1244

INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS 1245

CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS 1246

DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS 1247

ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS 1248

SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT 1249

EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK 1250

STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY 1251

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES 1252

EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL 1253

ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS 1254

ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH 1255

INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY 1256

ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS 1257

INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES 1258

Fatima Al-Hassan Ganesh Kothapalli Majid Tolouei-Rad Department of Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia 1258

MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES 1259

ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS 1260

ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES 1261

ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR 1262

EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS 1263

EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA 1264

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BİTKİLERDE BÖCEK ZARARINA KARŞI MİKORİZAL FUNGUSLARIN ETKİLERİ

Doç. Dr. Meltem AVAN
Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Adıyaman/Türkiye,
meltemavan@adiyaman.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2939-8177

Prof. Dr. Mahmut İSLAMOĞLU
Adıyaman Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü Adıyaman/Türkiye,
mislamoglu@adiyaman.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2835-4735

ÖZET

Dünya nüfusunun artan gıda talebini karşılamak amacıyla kullanılan kimyasallar ve gübreler, çevre kirliliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu duruma alternatif olarak değerlendirilen ve sürdürülebilir tarımsal üretimin temel bileşenlerinden biri kabul edilen Arbusküler Mikorizal Funguslar (AMF), bitkilerle simbiyotik bir ilişki kurarak onların gelişimini desteklemektedir. AMF'nin bitkilerde morfolojik ve biyokimyasal özellikleri iyileştirdiği, böylece böcek zararları da dâhil olmak üzere çeşitli streslere karşı direnç kapasitesini artırdığı gösterilmiştir. AMF'nin bitki savunma mekanizmalarını güçlendirmesi, böcek kaynaklı hasarın azaltılmasına katkıda bulunmakta; bu süreçte besin bulunabilirliği ile bitki fizyolojisindeki değişikliklerin önemli rol oynadığı bildirilmektedir. Bu açıdan AMF, bitki gelişimini iyileştirmenin yanı sıra zararlılara karşı etkili bir biyokoruyucu ajan olma potansiyeline sahiptir. Dolayısıyla AMF, sürdürülebilir tarımsal üretim için entegre zararlı yönetimi stratejilerinin vazgeçilmez bir unsuru olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arbusküler mikoriza, Ektomikoriza, Böcek zararı, Entegre mücadele, Ekosistem

EFFECTS OF DAMAGE FUNGI AGAINST INSECT DAMAGE IN PLANTS

ABSTRACT

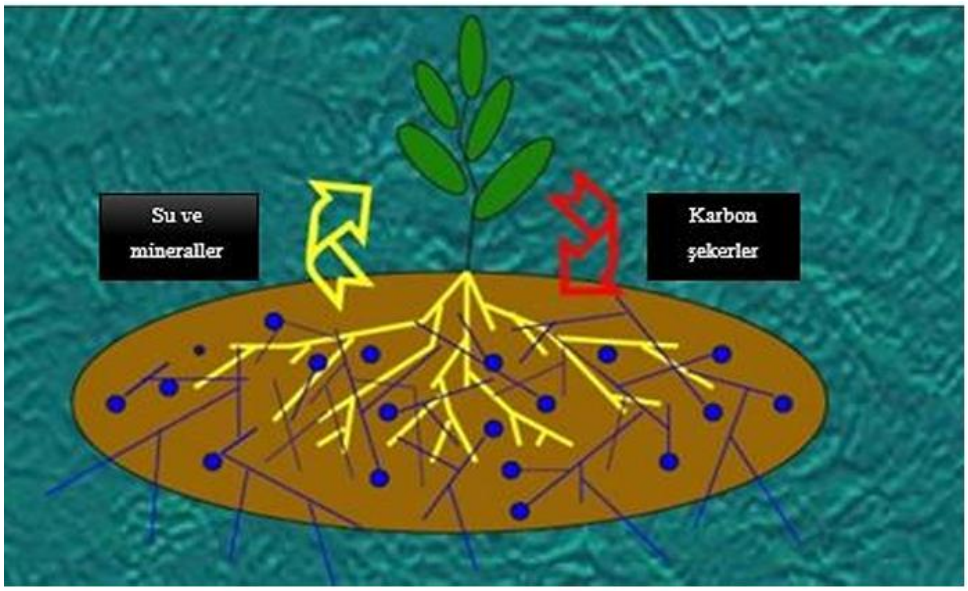
The chemicals and fertilizers used to meet the increasing food demand of the world's population significantly increase environmental pollution. Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF), considered an alternative and a fundamental component of sustainable agricultural production, support plant growth by establishing a symbiotic relationship with plants. AMF has been shown to improve morphological and biochemical characteristics in plants, thereby increasing their resistance to various stresses, including insect damage. The strengthening of plant defense mechanisms by AMF contributes to the reduction of insect-induced damage; nutrient

availability and changes in plant physiology are reported to play a significant role in this process. In this respect, AMF has the potential to be an effective bioprotective agent against pests, in addition to improving plant growth. Therefore, AMF is considered an indispensable element of integrated pest management strategies for sustainable agricultural production.

Keywords: Arbuscular mycorrhiza, Ectomycorrhiza, Insect damage, Integrated pest management, Ecosystem

1. GİRİŞ

Mikorizalar, bitki kökleri ile funguslar arasında kurulan ve karşılıklı faydaya dayanan simbiyotik birliktelikleri ifade eden genel bir kavramdır. Bu birlikteliklerde bitkiler, fotosentez yoluyla ürettikleri karbonu fungus ortaklarına aktarırken; funguslar da bitkilere toprakta sınırlı bulunan mineral besin elementlerinin ve suyun alımını kolaylaştırır (Smith ve Read, 1997, 2008). Mikorizal simbiyozlar, yalnızca bireysel bitkilerin büyüme ve fizyolojik performansını değil, aynı zamanda bitki topluluklarının yapısını, ekosistem üretkenliğini ve besin döngülerinin işleyişini de önemli ölçüde etkilemektedir (Şekil 1).



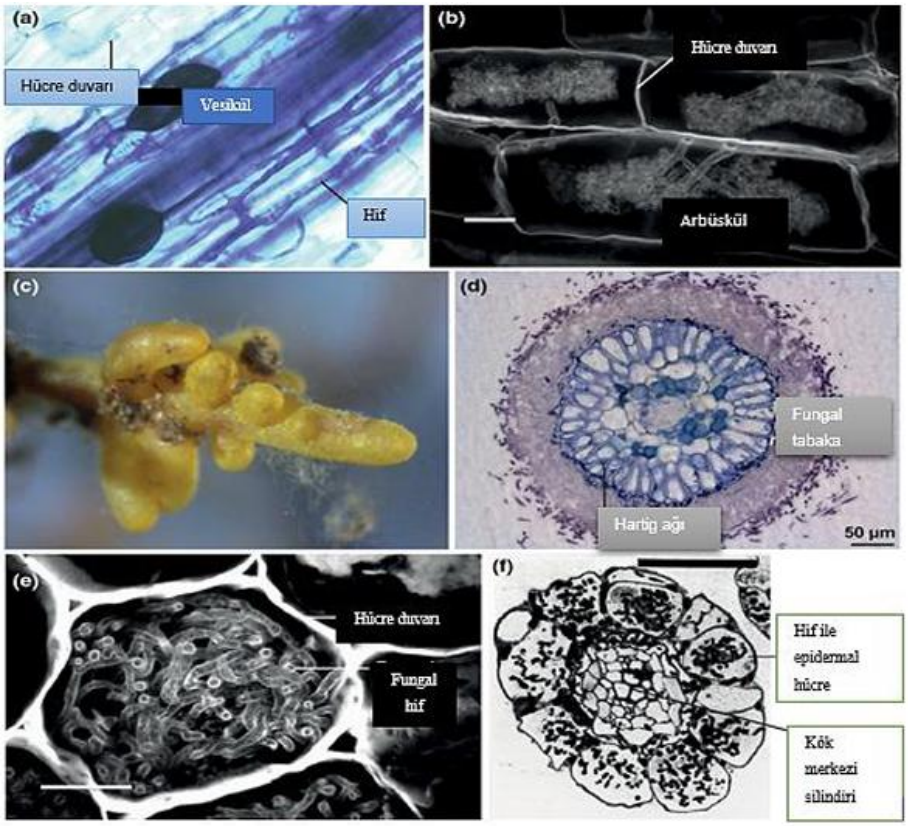
Şekil 1. Bitki ve funguslar arasındaki besinlerin çift yönlü değişimi (Government of Canada, 2013)

Doğada tanımlanmış yedi farklı mikoriza tipi bulunmakla birlikte, ekolojik açıdan en yaygın ve en önemli olanlar Arbusküler Mikorizalar (AM) ve Ektomikorizalar (EM)'dır. Arbusküler mikorizalar, Glomeromycota filumuna ait yaklaşık 150 fungus türü tarafından oluşturulmakta ve başta otsu bitkiler olmak üzere çok geniş bir konukçu yelpazesiyle ilişki kurmaktadır. Bu funguslar kök dokusuna hücreler arası olarak girer ve kök hücreleri içerisinde arbuskül adı verilen, yüksek derecede dallanmış yapılar oluşturur. Arbusküllerin, bitki ile fungus arasındaki besin alışverişinin gerçekleştiği temel yapılar olduğu düşünülmektedir. AM

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

fungusları küresel ölçekte yaygındır ve tüm vasküler bitkilerin yaklaşık %70'i ile simbiyotik ilişki kurmaktadır (Hodge, 2000).

Ektomikorizalar ise çoğunlukla odunsu bitkilerle ilişkilidir ve özellikle ılıman orman ekosistemlerinde yaygındır. Bu birliktelikler, büyük ölçüde Basidiomycota ve daha sınırlı ölçüde Ascomycota içerisinde yaklaşık 5000 fungus türü tarafından oluşturulmaktadır. EM fungusları, kök uçları üzerinde fungus kılıfı (mantle) oluşturarak hiflerin kök hücreleri arasında büyümesini sağlar, ancak hücre içi kolonizasyon gerçekleşmez. Her ne kadar tohumlu bitkilerin yalnızca yaklaşık %3'ü EM funguslarıyla ilişki kursa da, bu bitkilerin çoğunun ekolojik ve ekonomik açıdan önemli ağaç türleri olması nedeniyle ektomikorizaların küresel önemi oldukça büyüktür (Smith ve Read, 1997). Arbusküler ve ektomikorizalar yapısal farklılıklar gösterse de, işlevsel açıdan benzer prensiplere dayanır. Her iki birliktelik türü de bitki ve fungus arasında çift yönlü besin transferine dayalı karşılıklı fayda sağlayan ilişkiler olarak kabul edilir. Bitkiden fungusa karbon bileşikleri aktarılırken, fungusdan bitkiye başta fosfor ve azot olmak üzere çeşitli mineral besin maddeleri sağlanır; bunun yanı sıra mikro besin elementlerinin de bu yolla taşındığı düşünülmektedir (Smith ve Read, 1997) (Şekil 2).



Şekil 2. Arbusküler mikorizanın tipik yapısı (a, b); ektomikorizalar (c, d); orkide mikorizalar (e); erikoid mikorizaların tipik yapıları (f) ((a) van der Heijden ve ark., 2015; (b) Ryan Geil, yayınlayan Peterson ve ark. (2004); (c) Marc Buée, INRA; (d) Maira de Freitas Pereira, INRA; (e) Carla Zelmer , yayınlayan Peterson ve ark. (2004); (f) Paola Bonfante (Avan ve Kotan, 2021).

Böcekler, yeryüzündeki en kalabalık hayvan grubunu oluşturmakta olup, tanımlanmış yaklaşık 900.000 türün neredeyse yarısı doğrudan bitkilerle beslenmektedir (Schoonhoven ve ark., 1998). Bu durum, mikorizal birliktelik kuran bitkilerin büyük çoğunluğunun aynı zamanda

bir veya birden fazla böcek türünün saldırısına maruz kaldığı anlamına gelmektedir. Böcekler, büyüme ve üreme için bitkilerden elde ettikleri karbon ve besin maddelerine bağımlıdır ve bu yönüyle, konuk bitki içinde karbon kullanımı açısından mikorizal funguslarla potansiyel bir rekabet ilişkisi içinde olabilirler. Bu bağlamda, böcek aracılı bitki tüketiminin bitkilerde karbon sınırlamasına yol açarak mikorizal simbiyozu dolaylı biçimde etkileyebileceği öne sürülmüştür (Gehring ve Whitham, 1994).

Öte yandan, mikorizal fungusların bitkiler üzerinde yarattığı morfolojik ve fizyolojik değişimler, böceklerin büyümesini, hayatta kalmasını ve üreme başarısını etkileyebilecek çok sayıda potansiyel mekanizma sunmaktadır. Mikorizal birliktelikler; bitki büyüklüğünü, besin içeriğini, savunma kimyasını ve stres toleransını değiştirebilir ve bu değişikliklerin tamamı böcek–bitki etkileşimlerinin sonucunu şekillendirme potansiyeline sahiptir (Bennett ve ark., 2006; Gange, 2007).

Mikorizal funguslar ile böcekler arasındaki etkileşimleri inceleyen çalışmaların büyük bir bölümü kontrollü deneysel sistemlerde gerçekleştirilmiş olup, genellikle sınırlı sayıda bitki, böcek ve fungus türünü içermektedir. Bu çalışmalar, özellikle Gehring ve Whitham (1994, 2002), Gange ve Bower (1997) ve Gange ve Brown (2002a) tarafından yapılan derlemelerde kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Ancak bu yaklaşımlar, doğal sistemlerdeki çok türlü ve çok trofik etkileşimlerin karmaşıklığını tam olarak yansıtmaktan uzaktır. Mikorizal funguslar ile böcekler arasındaki dolaylı etkileşimler, bitki özellikleri aracılığıyla gerçekleşen etkileşimlerin topluluk ekolojisi açısından çarpıcı bir örneğini oluşturmaktadır. Her ne kadar funguslar ve böcekler çoğu zaman mekânsal ve zamansal olarak doğrudan temas halinde olmasalar da, ortak bir konak bitkiye bağımlı olmaları bu iki grubun ekolojik olarak güçlü biçimde bağlantılı olmasına neden olmaktadır. Bu etkileşimler, fungus, bitki ve böcek topluluklarının yapısını ve dinamiklerini belirlemede önemli rol oynayabilir.

Bu bildirinin temel amacı; mikorizal fungus–bitki–böcek etkileşimlerine ilişkin mevcut bilgileri topluluk ekolojisi perspektifi içinde birleştirmek, bu etkileşimlerin altında yatan olası mekanizmaları tartışmak ve türler arası ile tür içi varyasyonun ekolojik sonuçlarını değerlendirmektir. Mevcut bilgi birikimindeki önemli boşluklara dikkat çekerek, böcekler, bitkiler ve mikorizal funguslar arasında kurulan bu karmaşık ve dolaylı etkileşim ağının gelecekteki çalışmalar için yeni araştırma yolları açmasını umuyoruz.

2. MİKORİZAL BİRLİKTELİK TÜRLERİ VE FONKSİYONEL ÇEŞİTLİLİK

Mikorizal fungus–bitki–böcek etkileşimlerini inceleyen çalışmaların büyük çoğunluğu iki ana mikoriza tipine odaklanmıştır: arbusküler mikorizalar (AM) ve ektomikorizalar (EM).

AM fungusları, Glomeromycota filumuna ait sınırlı sayıda türden oluşmasına rağmen, çok geniş bir bitki grubuyla ilişki kurar ve hem doğal hem de tarımsal ekosistemlerde yaygındır. Buna karşılık EM fungusları, çoğunlukla odunsu bitkilerle ilişkilidir ve özellikle ılıman orman ekosistemlerinde baskındır (Johnson ve Gehring, 2007).

Her iki mikoriza tipinde de türler arasında belirgin fonksiyonel farklılıklar bulunur. Bu farklılıklar; karbon maliyeti, besin edinme stratejileri, çevresel streslere tolerans ve rekabet

yeteneği gibi özellikleri kapsar (Hart ve Reader, 2002; Taylor ve Bruns, 1999). Bu fonksiyonel çeşitlilik, mikorizal fungusların hem bitki performansı hem de böceklerle olan etkileşimler üzerindeki etkilerinin neden bu kadar değişken olduğunu açıklamaktadır.

3. BÖCEKLERİN MİKORİZAL FUNGUSLAR ÜZERİNDEKİ DOLAYLI ETKİLERİ

Böcekler, mikorizal fungusları doğrudan mikofaji yoluyla etkileyebilse de, literatürde daha çok bitki tüketiminden dolaylı etkileri incelenmiştir. Toprak üstü böcek aracılı bitki tüketimi, bitkilerin karbon bütçesini değiştirerek köklere ayrılan karbon miktarını ve dolayısıyla mikorizal kolonizasyonu etkileyebilir (Gehring ve Whitham, 1994). Genel eğilim, böcek aracılı bitki tüketimi EM fungus kolonizasyonunu sıklıkla azalttığı yönündedir. AM funguslarında ise sonuçlar daha değişkendir; bazı durumlarda kolonizasyon artarken, bazı çalışmalarda azalma ya da değişim gözlenmemiştir (Gange ve ark., 2002a; Wamberg ve ark., 2003).

3.1. Olası Mekanizmalar: Bu değişkenliğin temelinde, böcek aracılı bitki tüketiminin verdiği fizyolojik yanıtlar yer almaktadır. Düşük veya kısa süreli bitki tüketiminin, bitkilerde fotosentetik telafiyi ve kök salgılarını artırarak mikorizal fungusları destekleyebilir. Buna karşılık, uzun süreli veya yoğun bitki tüketimi, karbon tahsisini sınırlandırarak mikorizal kolonizasyonu baskılayabilir (Gange, 2007).

3.2. Topluluk Perspektifi: Son çalışmalar, böcek aracılı bitki tüketimi mikorizal tür zenginliğinden ziyade tür bileşimini daha güçlü şekilde etkilediğini göstermektedir. Örneğin, pinyon çamlarında yapılan saha çalışmaları, yaprak kaybı ile EM fungus tür zenginliği arasında güçlü bir ilişki bulamazken, tür bileşiminin bitki tüketimi şiddetiyle önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymuştur (Mueller ve Gehring, 2006). Bu bulgular, mikorizal fungus topluluklarının çevresel baskılara karşı dayanıklılığının, belirli türlerin karbon sınırlı koşullarda da varlığını sürdürebilmesinden kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla, mikorizal yanıtları yalnızca "kolonizasyon oranı" gibi kaba ölçütlerle değerlendirmek, ekolojik gerçekliği yansıtmada yetersiz kalmaktadır.

4. MİKORİZAL FUNGUSLARIN BÖCEKLER ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

4.1. Bitki Tüketimi

Mikorizal fungusların, bitki büyüklüğünü, besin içeriğini, savunma kimyasını ve bitki tüketimi toleransı değiştirdiği bilinmektedir (Smith ve Read, 1997; Bennett ve ark., 2006). Bu değişiklikler, böcek aracılı bitki tüketimi performansını hem olumlu hem de olumsuz yönde etkileyebilir.

Literatürdeki çalışmaların yaklaşık yarısı, mikorizal fungusların yer üstü bitki tüketimi desteklediğini; önemli bir kısmı ise baskıladığını göstermektedir. Bu sonuçlar, fungus türü, bitki türü ve böceklerin beslenme stratejilerine bağlı olarak değişmektedir (Gange, 2007).

4.2. Doğal Düşmanlar ve Tozlayıcılar

Mikorizal fungusların etkileri yalnızca bitki tüketimi ile sınırlı değildir. Bitki tüketimi bolluğundaki değişimler, parazitoid ve avcı böcekleri de dolaylı olarak etkileyebilir. Ayrıca AM

funguslarının çiçek sayısı, nektar üretimi ve çiçek büyüklüğü gibi özellikleri artırarak tozlayıcı ziyaretlerini teşvik ettiği gösterilmiştir (Gange ve Smith, 2005; Cahill ve ark., 2008).

4.3. Tür İçi Varyasyon ve Topluluk Genetiği

Son dönemde artan kanıtlar, mikorizal fungus–bitki–böcek etkileşimlerinde tür içi genetik varyasyonun da en az türler arası farklılıklar kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Hem fungus izolatları hem de bitki genotipleri, bu etkileşimlerin yönünü ve şiddetini belirleyebilmektedir (Wooley ve Paine, 2007; Bennett ve Bever, 2009). Bu durum, mikorizal ilişkilerin yalnızca ekolojik değil, aynı zamanda evrimsel bir bağlamda da ele alınması gerektiğini göstermektedir.

5. MİKORİZAL FUNGUSLARIN BİTKİ FİZYOLOJİSİ VE SAVUNMASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Mikorizal funguslar, bitkilere özellikle fosfor ve azot başta olmak üzere mineral besin maddelerinin alımında önemli avantajlar sağlamaktadır. Buna karşılık bitkiler, fotosentez yoluyla ürettikleri karbonun önemli bir kısmını mikorizal ortaklarına aktarmaktadır. Bu karbon tahsisi, bitkinin büyüme hızını, doku bileşimini ve savunma stratejilerini doğrudan etkileyebilmektedir.

Mikorizal kolonizasyonun bitkilerde ikincil metabolit üretimini değiştirdiği çok sayıda çalışmada gösterilmiştir. Özellikle iridoid glikozitler, fenolik bileşikler ve jasmonat temelli savunma yollarının AM ve ECM fungusları tarafından uyarılabildiği bildirilmektedir. Bu savunma bileşiklerinin artışı, genelci böcek türlerinde beslenme caydırıcılığına ve büyüme oranlarında azalmaya yol açabilmektedir. Buna karşın, bazı uzman böcek türlerinin mikorizal bitkiler üzerinde daha iyi performans gösterebildiği de rapor edilmiştir. Bu durum, mikorizaların bitki kimyasını türlere özgü biçimde değiştirdiğini ve böcek–bitki etkileşimlerinde seçici baskılar oluşturabileceğini düşündürmektedir.

6. BÖCEK ARACILI BİTKİ TÜKETİMİNİN MİKORİZAL KOLONİZASYON ÜZERİNE ETKİLERİ

Bitkilerde meydana gelen yaprak ya da kök hasarı, mikorizal kolonizasyon üzerinde de belirleyici rol oynayabilmektedir. Düşük düzeyde Böcek aracılı bitki tüketiminin, kök salgılarında geçici artışlara neden olarak mikorizal fungusların kolonizasyonunu teşvik edebildiği bildirilmiştir. Bu durum özellikle genç bitkilerde ve sınırlı bitki tüketimi baskısı altında gözlemlenmektedir. Buna karşılık, yoğun ve uzun süreli böcek saldırıları, bitkinin karbon dengesini bozarak mikorizal kolonizasyonun azalmasına yol açabilmektedir.

Özellikle ECM sistemlerinde, Böcek aracılı bitki tüketiminin toplam kolonizasyon oranından ziyade fungus tür bileşimini değiştirdiği görülmektedir. Farklı mikorizal türlerin karbon taleplerinin farklı olması, bitki tüketimi sonrası koşullarda düşük karbon gereksinimi olan türlerin rekabet avantajı kazanmasına neden olabilmektedir. Bu bulgular, mikorizal yanıtların yalnızca yüzde kolonizasyon üzerinden değil, tür düzeyinde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

7. MİKORİZALAR, BÖCEK ARACILI KÖK TÜKETİMİ VE TOPRAK ALTI SAVUNMA MEKANİZMALARI

Köklerle beslenen böcekler üzerinde yapılan çalışmalar, mikorizal kolonizasyonun saldırı sıklığını ve larva performansını genellikle azalttığını göstermektedir. Kök dokularının besin içeriğinin sınırlı olması nedeniyle, bu etkinin temelinde besin kalitesinden ziyade kimyasal savunma mekanizmalarının yer aldığı düşünülmektedir. Mikorizal fungusların, köklerde jasmonat biyosentezini ve savunma genlerinin ifadesini artırabildiği bilinmektedir. Ayrıca, köklerde sentezlenen savunma bileşiklerinin toprak üstü organlara taşınarak böcek aracılı yaprak tüketimini de etkileyebileceği öne sürülmektedir.

Bu durum, bitki savunmasının yalnızca toprak üstü süreçlerle sınırlı olmadığını ve mikorizaların toprak altı–toprak üstü savunma entegrasyonunda kilit rol oynadığını göstermektedir. Dolayısıyla, böcek zararına karşı bitki direncinin anlaşılmasında mikorizal simbiyozun mutlaka dikkate alınması gerekmektedir.

8. BÖCEK ARACILI BİTKİ TÜKETİMİNİN MİKORİZAL TOPLULUK EKOLOJİSİ AÇISINDAN ETKİLERİ

Mikorizal funguslar ile böcekler arasındaki etkileşimler, yalnızca bireysel bitkiler düzeyinde değil, bitki ve böcek topluluklarının yapısı üzerinde de belirleyici olabilmektedir. Mikorizal türlerin mekânsal olarak heterojen dağılımı, aynı bitki türü üzerinde farklı büyüme ve savunma yanıtlarının ortaya çıkmasına neden olabilir. Bu durum, böcek büyüme hızlarında ve saldırı desenlerinde yüksek varyasyonlara yol açarak topluluk düzeyinde sonuçlar doğurabilir.

Ayrıca, böcek aracılı bitki tüketiminin mikorizal topluluk bileşimini değiştirmesi, bitki tür zenginliği ve fide başarısı üzerinde dolaylı etkiler yaratabilir. Bu çoklu geri bildirimler, bitki–böcek–fungus etkileşimlerini ekosistem dinamiklerinin temel bileşenlerinden biri haline getirmektedir.

9. SONUÇ VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Mikorizal fungus–bitki–böcek etkileşimleri, çok sayıda biyotik ve abiyotik değişkenin birlikte etkili olduğu, bağlama bağımlı ve çok katmanlı bir ekolojik ağın parçasıdır. Bugüne kadar elde edilen bulgular, mikorizal simbiyozların bitkilerde böcek zararına karşı gelişen savunma süreçlerini tek yönlü biçimde değil, farklı mekanizmalar aracılığıyla ve çoğu zaman karşıt sonuçlar doğuracak şekilde etkileyebildiğini ortaya koymaktadır. Bu etkilerin yönü ve şiddeti; bitki türü ve genotipi, mikorizal fungusun türü ve fonksiyonel özellikleri, böceklerin beslenme stratejileri ile çevresel koşullara bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik göstermektedir (Gehring ve Whitham, 1994, 2002; Bennett ve ark., 2006; Gange, 2007).

Mevcut çalışmalar, mikorizal fungusların ekolojik rollerinin yalnızca “varlık–yokluk” temelli yaklaşımlarla değerlendirilemeyeceğini açıkça göstermektedir. Bunun yerine, mikorizal toplulukların tür bileşimi, fonksiyonel çeşitliliği ve bitkiyle kurdukları simbiyotik ilişkinin maliyet–fayda dengesi dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde, hem bitkiler hem de böcekler arasında bulunan genetik ve ekolojik çeşitlilik, bu üçlü etkileşimlerin sonuçlarını belirleyen

temel unsurlar arasında yer almaktadır (Bennett ve Bever, 2007; Bennett ve ark., 2006). Bu durum, mikorizal fungus–bitki–böcek ilişkilerinin genelleştirilmesinin neden zor olduğunu ve bağlama özgü değerlendirmelerin neden gerekli olduğunu ortaya koymaktadır. Önemli bir diğer çıkarım, mikorizal funguslar ile böcekler arasındaki etkileşimlerin, çoğu zaman doğrudan temas yoluyla değil, bitki özellikleri aracılığıyla dolaylı biçimde gerçekleştiğidir. Bu nedenle, söz konusu etkileşimlerin yalnızca ikili ilişkiler çerçevesinde ele alınması, ekolojik gerçekliğin önemli bir bölümünü göz ardı etmektedir. Üçlü etkileşimlerin, daha geniş bir topluluk ve ekosistem bağlamı içerisinde değerlendirilmesi; bitki, fungus ve böcek topluluklarının birlikte nasıl yapılandığını ve bu yapıların ekosistem işleyişine nasıl yansıdığını anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Gelecekteki araştırmaların, kontrollü deneysel çalışmalar ile doğal ekosistemlerde yürütülen saha gözlemlerini birleştiren çok trofik ve çok ölçekli yaklaşımlara yönelmesi gerekmektedir. Özellikle, doğal sistemlerde birlikte bulunan bitki–böcek–mikoriza kombinasyonlarının incelenmesi; moleküler, fizyolojik ve topluluk düzeyindeki süreçlerin bütüncül biçimde ele alınmasını mümkün kılacaktır. Bu tür yaklaşımlar, mikorizal fungus–bitki–böcek etkileşimlerinin ekosistem üretkenliği, dayanıklılığı ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki rolünü daha net ortaya koyarak, hem temel ekoloji hem de uygulamalı alanlar (örneğin tarım ve orman ekolojisi) için güçlü bir kuramsal çerçeve sunacaktır.

KAYNAKÇA

Avan, M., Kotan, R. Fungusların mikrobiyal gübre veya biyopestisit olarak tarımda kullanılması. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 3(1), 167-191, 2021.

Behmer, S. T., Nes, W. D. Insect sterol nutrition and physiology: A global overview. Advances in Insect Physiology, 31, 1–72, 2003.

Bennett, A. E., Bever, J. D., Bowers, M. D. Interactions between plant–herbivore and plant–mycorrhizal fungal communities. Oikos, 113, 169–178, 2006.

Bennett, A. E., Bever, J. D. Mycorrhizal species differentially alter plant growth and response to herbivory. Ecology, 88(1), 210–218, 2007.

Borowicz, V. A. A fungal root symbiont modifies plant resistance to an insect herbivore. Oecologia, 112, 534–542, 1997.

Gange, A. C., West, H. M. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and foliar-feeding insects in Plantago lanceolata L. New Phytologist, 128, 79–87, 1994.

Gange, A. C., Brown, V. K., Aplin, D. M. Multitrophic links between arbuscular mycorrhizal fungi and insect herbivores. Ecology Letters, 6, 105–113, 2003.

Gange, A. C. Insect–mycorrhizal interactions: patterns, processes, and consequences. Ecological Entomology, 32, 1–16, 2007.

Gehring, C. A., Whitham, T. G. Interactions between aboveground herbivores and the mycorrhizal mutualists of plants. Trends in Ecology & Evolution, 9, 251–255, 1994.

Gehring, C. A., Whitham, T. G. Mycorrhiza–herbivore interactions: Population and community consequences. In M. G. A. van der Heijden & I. R. Sanders (Eds.), Mycorrhizal ecology (pp. 295–320). Springer, 2002.

Government of Canada, Arbuscular Mycorrhizal Fungi and their Symbiosis with Plants. Erişim adresi: https://www.agr.gc.ca/eng/scientific-collaboration-and-research-in-agriculture/agriculture-andagri-food-research-centres-and-collections/glomeromycota-in-vitro-collection-ginco/arbuscularmycorrhizal-fungi-and-their-symbiosis-with-plants/?id=1236712919454, 2013.

Hause, B., Maier, W., Miersch, O., Kramell, R., Strack, D. Induction of jasmonate biosynthesis in arbuscular mycorrhizal barley roots. Plant Physiology, 130, 1213–1220, 2002.

Peterson, R. L., Massicotte, H. B., Melville, L. H. Mycorrhizas: anatomy and cell biology. Ottawa, ON, Canada: NRC Research Press, 2004.

Smith, S. E., Read, D. J. Mycorrhizal symbiosis (2nd ed.). Academic Press, 1997.

Smith, S. E., Read, D. J. Mycorrhizal symbiosis (3rd ed.). Academic Press, 2008.

van der Putten, W. H. Plant defense belowground and spatiotemporal processes in natural vegetation. Ecology, 84, 2269–2280, 2003.

van der Heijden, M.G., Martin, F.M., Selosse, M.A., Sanders, I.R. Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. New phytologist, 205 (4), 1406-1423, 2015.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MİKROBİYOLOJİ, ORGANİK MADDE VE SÜRDÜRÜLEBİLİR GÜBRELEME YAKLAŞIMLARININ YENİLEYİCİ TARIM İÇİN ENTEGRASYONU

INTEGRATION OF MICROBIOLOGY, ORGANIC MATTER AND SUSTAINABLE FERTILIZATION APPROACHES FOR REGENERATIVE AGRICULTURE

Doç. Dr. Gülay Zulkadir
Mersin Üniversitesi, Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Silifke/Mersin, Türkiye
e-mail: gulayzulkadir@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3488-4011

Özet

Bu çalışma, yenileyici tarım bağlamında toprak mikrobiyolojisi, organik madde yönetimi ve sürdürülebilir gübreleme yaklaşımlarının bir araya getirilerek nasıl etkili bir sinerji oluşturabileceğini incelemektedir. Yoğun tarım yöntemleri, toprak ekosistemlerini tahrip ederek organik madde içeriğini azaltmakta, mikrobiyal çeşitliliği tehdit etmekte ve uzun vadeli verimliliği baltalamaktadır. Bu durum, agroekosistemlerin çevresel dayanıklılığını ve gıda üretim kapasitesini olumsuz etkilemektedir. Yenileyici tarım, minimum toprak işleme, örtü bitkileri, ürün rotasyonu ve organik katkı maddeleri gibi stratejilerle bu sorunlara çözüm sunmayı hedefler. Toprak mikroorganizmaları, azot, karbon ve fosfor gibi temel besin döngülerini destekleyerek bitki büyümesini teşvik eder, hastalıklara karşı biyolojik koruma sağlar ve toprak sağlığını güçlendirir. Organik madde kaynakları, örneğin kompost, biyokömür ve hayvan gübresi, toprak yapısını iyileştirir, su tutma kapasitesini artırır ve besin kullanılabilirliğini optimize eder. Sürdürülebilir gübreleme yöntemleri, özellikle biyo gübreler ve organik gübreler, çevresel etkileri azaltırken bitki beslenmesini destekler. Bu üç temel bileşenin entegre edilmesi, tarımsal üretkenliği artırırken ekosistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini sağlar. Ancak, bu uygulamaların yaygınlaşması, yüksek başlangıç maliyetleri, bilgi eksikliği ve alışkanlıklara bağlı direnç gibi engellerle karşılaşmaktadır. Bu zorluklar, devlet destekleri, eğitim programları ve pazar teşvikleriyle aşılabilir. Gelecekteki araştırmalar, mikrobiyal teknolojilerin geliştirilmesi, uzun vadeli etkilerin değerlendirilmesi ve ekonomik fizibilite analizleri üzerine yoğunlaşmalıdır. Özellikle ılıman iklimlerdeki ekosistem dinamikleri ve rizosfer mikroorganizmalarının kullanımı, sürdürülebilir tarımın geleceği için kritik öneme sahiptir. Bu bütüncül yaklaşım, gıda güvenliğini artırmanın yanı sıra çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadelede önemli bir rol oynar.

Anahtar kelimeler: besin döngüsü, örtü bitkileri, ürün rotasyonu, agroekosistem, biyo gübre.

Abstract

This study investigates the synergistic integration of soil microbiology, organic matter management, and sustainable fertilization strategies within the framework of regenerative agriculture. Intensive farming practices degrade soil ecosystems by reducing organic matter, diminishing microbial diversity, and undermining long-term productivity, thereby threatening agroecosystem resilience and food security. Regenerative agriculture addresses these

challenges through practices such as minimal tillage, cover cropping, crop rotation, and the use of organic amendments. Soil microorganisms play a pivotal role in nutrient cycling (e.g., nitrogen, carbon, and phosphorus), promoting plant growth, and providing biological control against diseases. Organic matter sources, including compost, biochar, and manure, enhance soil structure, increase water retention, and improve nutrient availability. Sustainable fertilization, particularly through biofertilizers and organic fertilizers, supports plant nutrition while minimizing environmental impacts. The integration of these components fosters soil functionality, ecosystem resilience, and agricultural productivity. However, adoption faces challenges such as high initial costs, limited knowledge, and resistance to change, which can be mitigated through government incentives, education, and market-driven demand for sustainable products. Future research should prioritize the development of microbial technologies, long-term impact assessments, and economic feasibility studies, particularly in temperate climate contexts. Understanding the complex interactions among soil microbes, organic matter, and plants is essential for advancing sustainable agriculture. This holistic approach contributes to food security, environmental protection, and climate change mitigation.

Keywords: nutrient cycling, cover crops, crop rotation, agroecosystem, biofertilizer.

Giriş

Yoğun tarımsal uygulamalarla toprak ekosisteminin bozulmasıyla topraktaki organik madde azalmakta, mikrobiyal çeşitlilik yok olmakta ve toprak verimliliği azalmaktadır (Cárceles Rodríguez ve ark., 2022). Bu durum toprak yapısını da bozarak agro-ekosistemlerin doğal dayanıklılığını ve üretkenliğini, yani sürdürülebilirliğini yok etmektedir (Baldwin-Kordick ve ark., 2022). Bu bağlamda, yenileyici veya sürdürülebilir tarım uygulamaları ekosistem faaliyetlerini yeniden düzenlemek ve toprak sağlığını iyileştirmek için minimum toprak işleme, örtü bitkilerinin kullanımını, münavebe yöntemlerinin uygulanmasını ve organik katkı maddelerinin entegrasyonunu ele alır (Khangura ve ark., 2023). Yenileyici tarıma geçiş, toprak sağlığını sürdürülebilir gıda üretiminin temel unsuru olarak ön plana çıkararak bu olumsuz eğilimleri tersine çevirmeyi amaçlar (Frankel-Goldwater ve ark., 2024). Bu amaçla, ürün verimliliğinin mevcut seviyede kalması veya artması sağlanırken aynı zamanda ekosistem canlılığının aktif olarak yenilenmesi sağlanır.

Bozulmuş toprakları tekrar verimli hale getirebilmek için toprak mikrobiyolojisindeki ilerlemeleri, organik madde yönetimiyle entegre etmek esastır (Xing ve ark., 2024). Bu, besin döngüsünün devamlılığını sağlayarak mikrobiyal etkinliği artırır. Dolayısıyla bitkilerin yaşam ortamlarında sıkışmışlığı engelleyerek köklerin daha rahat hareket etmesini sağlayabilmekte, su ve besin alımının artmasına neden olarak verimliliği en üst düzeylere çıkarabilmektedir. Yapılan araştırmalarda da organik katkı maddelerini sürdürülebilir gübreleme stratejileriyle birleştirmenin ürün verim istikrarını artırabileceği ve uzun vadede ekosistem dayanıklılığını destekleyebileceği vurgulanır (Carreño Siqueira ve ark., 2023; Xing ve ark., 2024).

Toprak yenilenmesine kapsamlı bir yaklaşım, toprak mikrobiyolojisi, organik madde yönetimi ve sürdürülebilir gübreleme uygulamalarının sinerjik entegrasyonunu gerektirir. Bu makale, bu üç sütunun agroekosistemlerde toprak işlevselliğini, ekosistem dayanıklılığını ve tarımsal üretkenliği artıran mekanizmalarını inceler. Merkezi öneri, bu bileşenler arasındaki etkileşimi optimize etmenin, sağlam bitki büyümesini desteklerken çevresel etkileri en aza indiren sağlıklı bir toprak ekosistemi yetiştireceğidir. Amaçlar arasında toprak mikrobiyal rollerine, organik madde dinamiklerine ve ileri gübreleme stratejilerine ilişkin mevcut bilgileri sentezleme, agroekosistemler üzerindeki birleşik etkilerini analiz etme ve pratik uygulama ile gelecekteki araştırma yollarını belirleme yer alır.

Agro-ekolojik Dayanıklılık ve Gıda Güvenliği Açısından Önemi

Toprak sağlığını entegre yönetim yoluyla iyileştirmek, ekstrem iklim değişikliklerini ve doğal kaynaklar üzerindeki artan baskı karşısında agroekolojik dayanıklılık oluşturmak için vazgeçilmezdir. Sağlıklı topraklar, iyileştirilmiş su tutma, besin döngüsü verimliliği ve hastalık baskılaması gösterir; bunlar istikrarlı ürün verimleri ve dış girdilere bağımlılığın azalmasına katkıda bulunur (Griffiths ve ark., 2018). Mikrobiyoloji, organik madde ve sürdürülebilir gübrelemenin stratejik entegrasyonu, bu işlevleri doğrudan destekler ve böylece tarımsal sistemlerin uzun vadeli canlılığını artırır ve küresel gıda güvenliğine katkıda bulunur (Jiao ve ark., 2021; De Corato, 2020). Bu entegre perspektif, hem üretken hem de çevresel olarak sağlam tarım sistemleri geliştirmek için kritiktir.

Toprak Mikrobiyal Toplulukları: Yapı, İşlev ve Tarımsal Önemi

Toprak Mikroorganizmalarının Çeşitliliği ve İşlevsel Rolleri

Toprak, bakteriler, mantarlar, arkeler ve protistalar dahil olmak üzere muazzam bir mikroorganizma çeşitliliğine ev sahipliği yapar; bunlar ekosistem işleyişi için vazgeçilmez karmaşık ağlar oluşturur (Jiao ve ark., 2021; Griffiths ve ark., 2018). Bu topluluklar, karbon, azot ve fosfor dahil olmak üzere biyo-jeokimyasal döngüleri yönlendirir ve böylece bitkiler için besin kullanılabilirliğini düzenler (Leff ve ark., 2015; Jiao ve ark., 2022). Belirli mikrobiyal gruplar özel işlevler üstlenir; örneğin, mikoriz mantarları besin alımını kolaylaştırırken, çeşitli bakteriler atmosferik azotu fikse eder ve fosforu çözünür hale getirir (Leff ve ark., 2015). Bu mikrobiyal ağların karmaşıklığı ve istikrarı, toprağın işlevselliğiyle pozitif ilişkilidir; ürün verimini, besin tedarikini ve patojen kontrolünü etkiler (Jiao ve ark., 2021; Long ve ark., 2025).

Besin Döngüsü ve Bitki Sağlığında Mikrobiyal Etkileşimler

Mikroorganizmalar, besin döngüsü ve bitki sağlığını doğrudan etkileyen karmaşık bir ilişki ağı içerisindedirler. Baklagiller ve rizobiyal bakteriler arasındaki simbiyotik ilişkiler gibi, atmosferik azot fiksasyonunu mümkün kılar ve sentetik azot gübrelerine ihtiyacı azaltır (Wei ve ark., 2024). Diğer mikroorganizmalar, kompleks yapıdaki organik bileşikleri bitkilerin kullanılabilir azot, fosfor ve diğer temel besin formlarına dönüştürerek organik madde mineralizasyonuna katkıda bulunur (Patel ve ark., 2024). Ayrıca, bazı mikrobiyal gübreler, kök gelişimini artıran, yararlı mantarları toplayan ve toprak parçacıklarını agregate eden ikincil

metabolitler, proteinler ve mukus üretir; bu, toprak yapısını ve besin alımını iyileştirir (Wei ve ark., 2024). Bu mikrobiyal süreçler, bitki patojenlerini baskılayabilir ve sistemik direnci tetikleyebilir; hastalıklara karşı biyolojik kontrol mekanizmaları sunar (Wei ve ark., 2024; Marquez & Hajihassani, 2023).

Geleneksel ve Organik Yönetimin Mikrobiyal Topluluklar Üzerindeki Etkileri

Tarımsal yönetim uygulamalarının kontrollü olarak yapılması, toprak mikrobiyal topluluk yapısını ve işlevini önemli ölçüde etkiler. Sentetik gübreler, herbisitler ve pestisitler gibi yüksek kiyasal girdilerle karakterize edilen geleneksel tarım, mikrobiyal çeşitliliği değiştirebilir ve topluluk bileşiminde kaymalara yol açabilir (Leff ve ark., 2015). Çalışmalar, yüksek besin girdilerinin mikoriz mantarlarının ve oligotrofik bakteriyel taksonların miktarını azalttığını, hızlı büyüyen kopiyotrofik bakterileri ise artırdığını gösterir (Leff ve ark., 2015). Aksine, organik katkı maddelerine dayanan ve kimyasal müdahaleleri azaltan organik tarım sistemleri, genellikle daha yüksek mikrobiyal biyokütle ve farklı topluluk yapıları teşvik eder (Esperschütz ve ark., 2007). Örneğin, uzun vadeli organik gübreleme, yavaş büyüyen bakterilerin (k-stratejistleri) gelişimini destekler ve sıklıkla daha fazla mantar biyokütlesi sağlar (Esperschütz ve ark., 2007). Bu farklar, yönetim seçimlerinin yeraltı ekosistemini şekillendirme potansiyeline dikkat çekmektedir.

Toprak Sağlığında Organik Madde Kaynakları, Dinamikleri ve Ekolojik İşlevleri

Organik Katkı Maddelerinin Toprak Verimliliği ve Yapısı Üzerindeki Etkisi

Toprak organik maddesi (SOM), fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri etkileyen toprak sağlığının temel taşlarından biridir. Gübre, kompost ve biyokömür gibi organik katkı maddeleri, SOM birikimine katkıda bulunur; bu, katyon değişim kapasitesini ve besin tutma kapasitesini artırarak toprak verimliliğini iyileştirir (Yarşi, 2019; Baldwin-Kordick ve ark., 2022). Bu katkı maddeleri, agregat kararlılığını teşvik ederek, kütle yoğunluğunu azaltarak ve gözenekliliği artırarak toprak yapısını iyileştirir; bu, su sızmasını ve havalanmayı kolaylaştırır (Iqbal ve ark., 2021; Tautges ve ark., 2019; Narlı ve ark., 2017). Dört yıllık planlanan mısır-soya fasulyesi-yulaf+yonca rotasyonu, sığır gübresi alması durumunda kök büyüme direncinde %8 azalma, katyon değişim kapasitesinde %16 artış ve tuz çıkarılabilir toprak karbonunda %157 artış sağlar (Baldwin-Kordick ve ark., 2022). Bu değişiklikler, çevresel stres altında bile bitki büyümesini destekleyen daha dayanıklı topraklar yaratır.

Kompostlama, Biyokömür ve Gübre: Karbon Bağlama ve Mikrobiyal Habitat Katkıları

Kompostlama, biyokömür uygulaması ve gübre entegrasyonu, toprak ekosistemlerine farklı faydalar sunar. Kompostlanmış malzemeler ve gübre, organik madde ve besinleri doğrudan tedarik ederek mikrobiyal etkinliği ve çeşitliliği artırır (Patel ve ark., 2024; Iqbal ve ark., 2021). Biyokömür, kararlı bir karbon formu olarak karbonu bağlayabilir, besin kullanılabilirliğini iyileştirebilir ve mikrobiyal topluluklar için habitat sağlar (Lebrun ve ark., 2023). Biyokömürün gübreyle karıştırılması, sadece gübre uygulamasına göre CO_2 emisyonlarını %60 azaltabilir ve

mikroorganizmaların karbon ve azot edinimini iyileştirebilir (Lebrun ve ark., 2023). Bu karışım yaklaşımı, NO_3^- sızıntısını %58 azaltarak ve mikrobiyal işlevsel çeşitliliği artırarak toprak verimliliğini önemli ölçüde iyileştirir (Lebrun ve ark., 2023). Uzun vadeli denemeler, kompostlanmış tavuk gübresi eklemenin 2 metrelik toprak profilinde toprak organik karbon stoklarını %12.6 artırabileceğini gösterir (Tautges ve ark., 2019).

Ürün Artıkları, Örtü Bitkileri ve Rotasyonlar: Organik Girdileri Artırma

Ürün artıklarını, örtü bitkilerini ve çeşitli rotasyonları entegre etmek, toprağa organik girdileri önemli ölçüde artırır. Örtü bitkileri, örneğin turp, allelopatik etkilerle yabani otları baskılar ve toprağa karıştırıldığında organik madde katkıda bulunarak mikrobiyal etkinlikleri ve besin kullanılabilirliğini artırır (İdikut ve ark., 2023). Ayrıca, nadas dönemlerinde toprak erozyonunu ve besin kaybını önlerler. Baklagil içeren çeşitli ürün rotasyonları, toprak organik karbonunu ve mikrobiyal biyokütleyi artırarak toprak sağlığını iyileştirir (Baldwin-Kordick ve ark., 2022). Örneğin, 4 yıllık ürün rotasyonunda, geleneksel 2 yıllık mısır-soya fasulyesi rotasyonuna göre toprak mikrobiyal biyokütlesini %62 artırır (Baldwin-Kordick ve ark., 2022). Örtü bitkilerinden elde edilen biyokütle, sonraki ürünler için azot kaynağı olabilir, ancak belirli koşullar altında amonyak volatilizasyonu meydana gelebilir.

Sürdürülebilir Gübreleme Stratejilerinin Biyolojik Süreçlerle Entegrasyon

Biyo Gübreler, Organik Gübreler ve Biyo-Organik Gübrelerin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Modern tarım, bitki besinlerini tedarik etmek için sıklıkla kimyasal gübrelere (CF) dayanır, ancak aşırı kullanımı toprak sağlığını ve mikrobiyal toplulukları olumsuz etkileyebilir (Li ve ark., 2021; Leff ve ark., 2015). Bitki veya hayvan kaynaklarından elde edilen organik gübreler (OF), toprak yapısını ve mikrobiyal çeşitliliği iyileştirir, ancak besin salınım daha yavaş olabileceği için hızlı emilim sağlanamamakla birlikte mevcudiyeti daha uzun olmaktadır (Yu ve ark., 2024). Biyo-organik gübreler (BOF), organik maddeyi yararlı mikroorganizmalarla birleştirerek her ikisinin faydalarını birleştirir; bitki büyümesini teşvik eder, toprak verimliliğini artırır ve mikrobiyal topluluk bileşimini modüle eder (Li ve ark., 2021). Patates tarlalarındaki çalışmalar, BOF tedavisinin biyokütle ve çözünür şeker içeriğini önemli ölçüde artırdığını, toprak elektrik iletkenliğini, kullanılabilir fosforu, kullanılabilir potasyumu, üreaz ve alkalin fosfataz etkinliğini CF'ye göre iyileştirdiğini gösterir (Li ve ark., 2021). BOF, bakteriyel çeşitliliği artırır ve fungal çeşitliliği, özellikle patojenik mikropları azaltır (Li ve ark., 2021). CF'nin sığır veya tavuk gübresi gibi OF ile birleştirilmesi, toprak enzimatik etkinliklerini, mikrobiyal biyokütle karbonu ve azotunu ve genel tahıl verimini önemli ölçüde artırır (Iqbal ve ark., 2021).

Mikrobiyal Gübreler ve Biyo Gübre Teknolojileri

Mikrobiyal gübreler veya biyo gübreler, yararlı mikroorganizmaları kullanarak besin kullanılabilirliğini artırır ve bitki büyümesini teşvik eder. Bu gübreler genellikle azotu fikse eden bakteriler, fosfatı çözünürleştiren bakteriler veya mikoriz mantarları içerir (Pindi, 2012).

Azotu fikse eden biyo gübreler, atmosferik azotu bitkilerin kullanılabilir formlarına dönüştürerek sentetik azot gübrelerine ihtiyacı azaltır. Fosfatı çözünürleştiren biyo gübreler, çözünmez formları çözünür hale getirerek fosforun kullanılabilirliğini artırır. Mikoriz biyo gübreler, bitki kökleriyle simbiyotik ilişkiler kurarak besin alımını, özellikle fosforu artırır. Biyo gübreler, kimyasal gübrelere sürdürülebilir bir alternatif sunar; besin kullanım verimliliğini artırır ve çevresel etkileri azaltır (Pindi, 2012; Yarşi, 2023).

Sürdürülebilir Sistemlerde Bitki Beslenme Stratejileri

Sürdürülebilir bitki beslenme stratejileri, besin kullanım verimliliğini optimize ederken çevresel etkileri en aza indirmeye odaklanır. Bu stratejiler, biyolojik gübreler, kompost, organik katkı maddeleri, doğal mineral katkı maddeleri ve hassas gübreleme tekniklerini entegre eder. Toprak testleri, besin kullanılabilirliğini değerlendirir ve gübreleme kararlarını yönlendirir. Ürün rotasyonu ve ara ekim gibi uygulamalar, toprak sağlığını iyileştirir ve zararlıları azaltabilir. Entegre besin yönetimi stratejileri, besin kayıplarını en aza indirerek bitkilerin ihtiyaç duydukları besinleri zamanında sağlar (Halder ve ark., 2020).

Toprak Yönetimi Uygulamaları ve Araçları

Toprak İşleme Azaltma ve Koruma Tarımı

Toprak işlemeyi azaltma ve koruma tarımı, toprak sağlığını ve sürdürülebilirliği teşvik eden önemli uygulamalardır. Toprak işlemeyi azaltma, toprak yapısını korur ve erozyonu azaltır. Koruma tarımı, ürün artıklarını toprak yüzeyinde bırakarak toprak organik maddesini artırır. Bu uygulamalar, toprak yapısını iyileştirir, toprak sıkışmasını azaltır ve su ile besin tutma kapasitesini artırır (İdikut ve ark., 2023). Toprak işlemeyi yapmama ve koruma tarımı, karbon bağlamasını teşvik ederek iklim değişikliğini hafifletir ve tarımsal sürdürülebilirliği artırır (Sainju ve ark., 2003).

Örtü Bitkileri ve Ürün Rotasyonu

Örtü bitkileri, ürün elde etmek için değil öncelikle toprak sağlığı faydaları için ekilen bitkilerdir. Örtü bitkileri, toprak yapısını iyileştirir, erozyonu azaltır, yabani otları baskılar ve besin döngüsünü geliştirir. Ürün rotasyonu, planlı bir sırayla farklı bitkilerin ekilmesini içerir; toprak sağlığını iyileştirir ve zararlı ile hastalık sorunlarını azaltır. Baklagil örtü bitkileri, atmosferik azotu fikse ederek sentetik azot gübrelerine ihtiyacı azaltır. Örtü bitkileri ve ürün rotasyonu, biyoçeşitliliği artırır, toprak sağlığını iyileştirir ve sürdürülebilir tarımı teşvik eder (Watson ve ark., 2002). Baklagil ara ekimin önemli katkıları arasında SOM geliştirme ve verimlilik inşası, biyolojik azot (N) ve diğer bitki besin kullanılabilirliği yer alır (Kumawat ve ark., 2022).

Entegre Besin Yönetimi

Entegre besin yönetimi (INM), organik ve inorganik besin kaynaklarını birleştirerek bitki beslenmesini optimize ederken çevresel etkileri en aza indirir. INM stratejileri, toprak testleri, ürün rotasyonu, örtü bitkileri, organik katkı maddeleri ve hassas gübreleme tekniklerini içerir.

INM'nin amacı, bitkilere ihtiyaç duydukları besinleri zamanında sağlamak ve çevresel besin kayıplarını en aza indirmektir. INM, besin kullanım verimliliğini iyileştirir, gübre maliyetlerini azaltır ve tarımsal sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini artırır (Halder ve ark., 2020).

Toprak Yönetimine Ekosistem Temelli Yaklaşımlar

Toprak yönetimine ekosistem temelli yaklaşımlar, toprak, su, hava ve yaşayan organizmaların birbirine bağlılığını kabul eder. Bu yaklaşımlar, biyoçeşitliliği korumayı, su kaynaklarını korumayı ve kirliliği en aza indirmeyi vurgular. Ekosistem temelli yaklaşımlar, koruma tarımı, örtü bitkileri, ürün rotasyonu, entegre zararlı yönetimi ve entegre besin yönetimi gibi birden fazla uygulamayı entegre eder. Amaç, gıda üretimi, su arıtma, karbon bağlama ve biyoçeşitlilik koruma gibi çoklu ekosistem hizmetleri sunan dayanıklı ve sürdürülebilir tarımsal sistemler yaratmaktır (De Corato, 2020).

Sürdürülebilir ve Geleneksel Yöntemlerin Karşılaştırmalı Analizi

Sürdürülebilir ve geleneksel tarım yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi, toprak sağlığı, çevresel etki ve uzun vadeli üretkenlikte önemli farklar ortaya koyar. Organik tarım ve koruma tarımı gibi sürdürülebilir yöntemler, genellikle geleneksel yöntemlere göre toprak sağlığını iyileştirir, biyoçeşitliliği artırır ve çevresel etkileri azaltır (Tahat ve ark., 2020). Yoğun toprak işleme ve yüksek kimyasal gübre kullanımıyla karakterize geleneksel yöntemler, toprak bozulmasına, su kirliliğine ve atmosferik kirliliğe yol açabilir (Sainju ve ark., 2003). Geleneksel yöntemler kısa vadede daha yüksek verim sağlayabilirken, sürdürülebilir yöntemler daha büyük uzun vadeli üretkenlik ve çevresel sürdürülebilirlik sunar. Organik tarım, yalnızca toprak yapısına zarar vererek arazi bozulmasına neden olabilecek sentetik girdilerin kullanımını ortadan kaldırmakla sınırlı değildir; doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı, sağlıklı gıda üretimi ve enerji tasarrufu da içerir (Halder ve ark., 2020).

Toprak Mikrobiyolojisi, Organik Madde ve Gübreleme Arasındaki Sinerjiler

Toprak mikrobiyolojisi, organik madde ve gübreleme arasında toprak sağlığını ve ürün üretkenliğini teşvik eden güçlü sinerjiler vardır. Toprak mikroorganizmaları, organik maddeyi ayrıştırarak besinleri serbest bırakır ve bitki besin kullanılabilirliğini artırır. Organik madde, besin döngüsü ve diğer temel süreçleri yönlendiren toprak mikroorganizmaları için besin kaynağıdır. Biyolojik gübreler ve kompost gibi sürdürülebilir gübreleme yöntemleri, mikrobiyal etkinliği artırır ve besin kullanım verimliliğini iyileştirir. Bu üç bileşeni entegre ederek çiftçiler, sinerjik bir etki yaratabilir; toprak sağlığını ve ürün üretkenliğini iyileştirirken çevresel etkileri en aza indirir (Samuel ve ark., 2018).

Sürdürülebilir Uygulamaları Uygulamadaki Zorluklar ve Fırsatlar

Sürdürülebilir tarım uygulamalarını uygulamak, daha yüksek başlangıç maliyetleri, bilgi eksikliği ve değişime direnç gibi zorluklar sunabilir. Ancak, hükümet teşvikleri, araştırma ve eğitim ile sürdürülebilir ürünlere pazar talebi gibi sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmek için önemli fırsatlar da vardır. Bu zorlukları aşmak ve fırsatları değerlendirmek, daha sürdürülebilir

tarımsal sistemlere geçiş için esastır. Organik tarımda kullanılan biyo katkı maddelerinin verimliliği konusunda değişkenlik nedeniyle önemli tartışmalar vardır (Sapinas & Abbott, 2020).

Tartışma

Bu incelemenin bulguları, tarımsal üretkenlik ve sürdürülebilirlik için önemli sonuçlara sahiptir. Sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamaları, ürün verimini artırabilir, girdi maliyetlerini azaltabilir ve tarımsal sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini geliştirebilir. Toprak sağlığına odaklanarak çiftçiler/araştırıcılar, çevresel streslere daha iyi dayanabilecek daha dayanıklı ve üretken tarımsal sistemler yaratabilir. Sürdürülebilir tarıma geçiş, gıda güvenliğini sağlamak, çevreyi korumak ve iklim değişikliğini hafifletmek için esastır. Toprakların uzun vadeli üretkenliği ve korunması, tarımsal ekosistemleri sürdürmek için kritik öneme sahiptir (Samuel ve ark., 2018).

Ekonomik yönler, sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarının benimsenmesini teşvik etmek için kritik öneme sahiptir. Bazı sürdürülebilir uygulamalar daha yüksek başlangıç maliyetlerine sahip olsa da, azaltılmış girdi maliyetleri, iyileştirilmiş ürün verimleri ve sürdürülebilir üretilmiş ürünlere premium pazar erişimi gibi uzun vadeli ekonomik faydalar sağlayabilir. Hükümet teşvikleri ve teknik yardım, çiftçilerin başlangıç engellerini aşmasına yardımcı olabilir. Sürdürülebilir uygulamaların karlılığını göstermek ve yaygın benimsenmesini teşvik etmek için kapsamlı bir ekonomik analiz esastır (Halder ve ark., 2020).

Toprak sağlığını teşvik etmek için politika önerileri arasında çiftçilere sürdürülebilir uygulamaları benimsemeleri için mali teşvikler sağlamak, toprak sağlığı üzerine araştırma ve eğitime yatırım yapmak ve toprak sağlığı standartları ile izleme programları kurmak yer alır. Hükümet politikaları, destekleyici bir düzenleyici ve ekonomik ortam yaratarak sürdürülebilir tarıma geçişte anahtar rol oynayabilir. Politikalar, bilgi eksikliği ve sermaye erişimi gibi benimseme engellerini de ele almalıdır. Bu politikaları uygulayarak hükümetler, tarımsal toprakların uzun vadeli sağlığını ve üretkenliğini sağlayabilir (Padmaja & Angadi, 2018).

Sonuç

Bu literatür incelemesi, toprak mikrobiyolojisi, organik madde içeriği ve sürdürülebilir gübreleme yöntemlerinin toprak sağlığını ve sürdürülebilir tarımı teşvik etmekteki önemini vurgular. Organik tarım, koruma tarımı ve entegre besin yönetimi gibi sürdürülebilir uygulamalar, geleneksel yöntemlere göre toprak sağlığını iyileştirir, biyoçeşitliliği artırır ve çevresel etkileri azaltır. Toprak mikroorganizmaları, besin döngüsü, organik madde ayrışması ve hastalık baskılamasında kritik rol oynar. Organik madde, toprak yapısını, su tutma kapasitesini ve besin kullanılabilirliğini iyileştirir. Sürdürülebilir gübreleme yöntemleri, bitki beslenmesini optimize ederken çevresel etkileri en aza indirir. Bu bileşenleri entegre ederek çiftçiler, sinerjik etkiler yaratabilir; toprak sağlığını ve ürün üretkenliğini iyileştirirken tarımsal sistemlerin uzun vadeli sürdürülebilirliğini artırır.

Gelecek araştırmalarda, sürdürülebilir tarım için yeni mikrobiyal teknolojiler belirleme ve geliştirme, sürdürülebilir uygulamaların toprak sağlığı ve ürün üretkenliği üzerindeki uzun vadeli etkilerini değerlendirme ve sürdürülebilir toprak yönetiminin faydalarını doğru yakalayan ekonomik modeller geliştirme üzerine odaklanmalıdır. Toprak mikroorganizmaları, organik madde ve bitkiler arasındaki karmaşık etkileşimleri daha iyi anlamak için araştırmalar gereklidir. Özellikle ılıman iklim ekolojisi bağlamında daha fazla araştırma yapılmalıdır. Ayrıca, rizosferde saf inokulantlar olarak kullanılan yararlı mikroorganizmaların sürdürülebilir kullanımına daha fazla dikkat edilmelidir.

Sürdürülebilir toprak yönetimi uygulamalarının yaygın benimsenmesini teşvik etmek için bir eylem çağrısı gereklidir. Çiftçiler, politikacılar, araştırmacılar ve tüketiciler, daha sürdürülebilir bir tarımsal sistem yaratmada rol oynayabilir. Çiftçiler, sürdürülebilir uygulamaları benimseyerek toprak sağlığını iyileştirebilir ve operasyonlarının uzun vadeli üretkenliğini artırabilir. Politikacılar, sürdürülebilir uygulamaların benimsenmesini desteklemek için mali teşvikler ve teknik yardım sağlayabilir. Araştırmacılar, sürdürülebilir toprak yönetimi için yenilikçi çözümler belirleme ve geliştirme araştırmaları yapabilir. Tüketiciler, sürdürülebilir üretilmiş ürünleri satın alarak sürdürülebilir tarımı destekleyebilir. Birlikte çalışarak, çevreyi koruyan, gıda güvenliğini teşvik eden ve iklim değişikliğini hafifleten daha sürdürülebilir bir tarımsal sistem yaratabilir.

Kaynakça

Baldwin-Kordick, R., De, M., Lopez, M. D., Liebman, M., Lauter, N., Marino, J., & McDaniel, M. D. (2022). Comprehensive impacts of diversified cropping on soil health and sustainability. Agroecology and Sustainable Food Systems, 46(3), 331–363. Informa UK Limited. https://doi.org/10.1080/21683565.2021.2019167

Cárceles Rodríguez, B., Durán-Zuazo, V. H., Soriano Rodríguez, M., Soriano Rodríguez, M., García-Tejero, I. F., Soriano Rodríguez, M., Gálvez Ruiz, B., & Cuadros Tavira, S. (2022). Conservation Agriculture as a Sustainable System for Soil Health: A Review. Soil Systems, 6(4), 87. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/soilsystems6040087

Carreño Siqueira, J. A., Marques, D. J., Silva, M. C. G., & Silva, C. A. (2023). The use of photosynthetic pigments and SPAD can help in the selection of bean genotypes under fertilization organic and mineral. Scientific Reports, 13(1). Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49582-4

De Corato, U. (2020). Towards New Soil Management Strategies for Improving Soil Quality and Ecosystem Services in Sustainable Agriculture: Editorial Overview. Sustainability, 12(22), 9398. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/su12229398

Esperschütz, J., Gattinger, A., Mäder, P., Schloter, M., & Flieβbach, A. (2007). Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. FEMS Microbiology Ecology, 61(1), 26–37. Oxford University Press (OUP). https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2007.00318.x

Frankel-Goldwater, L., Wojtynia, N., & Dueñas-Ocampo, S. (2024). Healthy people, soils, and ecosystems: uncovering primary drivers in the adoption of regenerative agriculture by US farmers and ranchers. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7. Frontiers Media SA. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1070518

Griffiths, B. S., Faber, J., & Bloem, J. (2018). Applying Soil Health Indicators to Encourage Sustainable Soil Use: The Transition from Scientific Study to Practical Application. Sustainability, 10(9), 3021. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/su10093021

Halder, P., Hansen, E. N., Kangas, J., & Laukkanen, T. (2020). How national culture and ethics matter in consumers' green consumption values. Journal of cleaner production, 265, 121754. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121754

Iqbal, A., He, L., McBride, S. G., Ali, I., Akhtar, K., Khan, R., Zaman, M., We, S., Guo, Z., & Jiang, L. (2021). Manure Applications Combined With Chemical Fertilizer Improves Soil Functionality, Microbial Biomass and Rice Production in a Paddy Field. Springer Science and Business Media LLC. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-461485/v1

İdikut, L., Uskutoğlu, D., Sakin, S. Ç., & Zulkadir, G. (2023). Pre-plant application and different weed removal applications and their combinations caused positive effects on yield-related parameters. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, *35*, 994-1003. https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.3171

Jiao, S., Lu, Y., & Wei, G. (2021). Soil multitrophic network complexity enhances the link between biodiversity and multifunctionality in agricultural systems. Global Change Biology, 28(1), 140–153. Wiley. https://doi.org/10.1111/gcb.15917

Jiao, S., Qi, J., Jin, C., Liu, Y., Wang, Y., Pan, H., Chen, S., Liang, C., Peng, Z., Chen, B., Qian, X., & Wei, G. (2022). Core phylotypes enhance the resistance of soil microbiome to environmental changes to maintain multifunctionality in agricultural ecosystems. Global Change Biology, 28(22), 6653–6664. Wiley. https://doi.org/10.1111/gcb.16387

Khangura, R., Ferris, D., Wagg, C., & Bowyer, J. (2023). Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. Sustainability, 15(3), 2338. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/su15032338

Kumawat, A., Bamboriya, S. D., Meena, R. S., Yadav, D., Kumar, A., Kumar, S., ... & Pradhan, G. (2022). Legume-based inter-cropping to achieve the crop, soil, and environmental health security. In Advances in legumes for sustainable intensification (pp. 307-328). Academic Press.

Lebrun, M., Zahid, Z., Bednik, M., Medynska-Juraszek, A., Száková, J., Brtnický, M., Holátko, J., Bourgerie, S., Beesley, L., Pohořelý, M., Lucků, J., Hnátková, T., & Trakal, L. (2023). Combined biochar and manure addition to an agricultural soil benefits fertility, microbial

activity, and mitigates manure-induced CO2 emissions. Soil Use and Management, 40(1). Wiley. https://doi.org/10.1111/sum.12997

Leff, J. W., Jones, S. E., Prober, S. M., Barberán, A., Borer, E. T., Firn, J. L., Harpole, W. S., Hobbie, S. E., Hofmockel, K. S., Knops, J. M. H., McCulley, R. L., La Pierre, K., Risch, A. C., Seabloom, E. W., Schütz, M., Steenbock, C., Stevens, C. J., & Fierer, N. (2015). Consistent responses of soil microbial communities to elevated nutrient inputs in grasslands across the globe. Proceedings of the National Academy of Sciences, 112(35), 10967–10972. Proceedings of the National Academy of Sciences. https://doi.org/10.1073/pnas.1508382112

Li, W., Zhang, F., Cui, G., Wang, Y., Yang, J., Cheng, H., Liu, H., & Zhang, L. (2021). Effects of bio-organic fertilizer on soil fertility, microbial community composition, and potato growth. ScienceAsia, 47(3), 347. Science Society of Thailand. https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2021.039

Long, X., Li, J., Liao, X., Wang, J., Zhang, W., Wang, K., & Zhao, J. (2025). Stable Soil Biota Network Enhances Soil Multifunctionality in Agroecosystems. Global Change Biology, 31(1). Wiley. https://doi.org/10.1111/gcb.70041

Marquez, J., & Hajihassani, A. (2023). Successional effects of cover cropping and deep tillage on suppression of plant-parasitic nematodes and soilborne fungal pathogens. Pest Management Science, 79(8), 2737–2747. Wiley. https://doi.org/10.1002/ps.7450

Narlı, T., İdikut, L., Ekinci, M., Üstüner, T., Zulkadir, G., & Çölkesen, M. (2017, May). Investigation of Density of Sorghum halepense in Rotation of Corn and Radish Plant. 2nd International Balkan Agriculture Congress - Electronic Book http://agribalkan2017.nku.edu.tr/ and http://ziraat-en.nku.edu.tr/.

Padmaja, B., & Angadi, J. G. (2018). Utilisation of soil health card by farmers in nutrient management. Int J Curr Microbiol App Sci, 7(12), 1583-1592.

Patel, K. K., Pandey, A. K., Baheliya, A. K., Singh, V., Yadav, R., Pandey, S., Adesh, & Yadav, V. (2024). A Comparative Study of the Effects of Biofertilizers and Chemical Fertilizers on Soil Physical and Biological Properties under Chickpea Crop (Cicer arietinum L.). International Journal of Environment and Climate Change, 14(3), 72–80. Sciencedomain International. https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i34020

Pindi, P. K. (2012). Diversity of fungi at various depths of marine water. Research in Biotechnology, 3(4).

Sainju, U. M., Terrill, T. H., Gelaye, S., & Singh, B. P. (2003). Soil aggregation and carbon and nitrogen pools under rhizoma peanut and perennial weeds. Soil Science Society of America Journal, 67(1), 146-155. https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1460

Samuel AD, Bungau S, Tit DM, Melinte Frunzulica CE, Purza L, Badea GE (2018) Effects of long term application of organic and mineral fertilizers on soil enzymes. Rev Chim 69:2608–2612.

Sapinas, I. P., & Abbott, L. K. (2020). Soil fertility management based on certified organic agriculture standards–a review. Sustainable Agriculture Research, 9(2), 1-16. https://doi.org/10.22004/ag.econ.309766

Tahat, M. M., M. Alananbeh, K., A. Othman, Y., & I. Leskovar, D. (2020). Soil health and sustainable agriculture. Sustainability, 12(12), 4859. https://doi.org/10.3390/su12124859

Tautges, N. E., Chiartas, J. L., Gaudin, A. C. M., O'Geen, A. T., Herrera, I., & Scow, K. M. (2019). Deep soil inventories reveal that impacts of cover crops and compost on soil carbon sequestration differ in surface and subsurface soils. Global Change Biology, 25(11), 3753–3766. Wiley. https://doi.org/10.1111/gcb.14762

Watson, C. A., Atkinson, D., Gosling, P., Jackson, L. R., & Rayns, F. W. (2002). Managing soil fertility in organic farming systems. Soil use and management, 18, 239-247. https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2002.tb00265.x

Wei, X., Xie, B., Wan, C., Song, R., Zhong, W., Xin, S., & Song, K. (2024). Enhancing Soil Health and Plant Growth through Microbial Fertilizers: Mechanisms, Benefits, and Sustainable Agricultural Practices. Agronomy, 14(3), 609. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/agronomy14030609

Xing, Y., Li, Y., Zhang, F., & Wang, X. (2024). Appropriate Application of Organic Fertilizer Can Effectively Improve Soil Environment and Increase Maize Yield in Loess Plateau. Agronomy, 14(5), 993. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/agronomy14050993

Yarsi, G. (2019). The effects of liquid worm fertilizer and liquid bat guano fertilizer on plant growth and yield in grafted tomato plants (Lycopersicon esculentum L). Fresenius Environmental Bulletin, 2019, Vol. 28, No. 5, 3740-3744.

Yarşi, G. (2023). Effects of mycorrhiza, seaweed and bionutrient applied to reduce the salt stress on nutrient content, plant growth, malondialdehyde (MDA) and proline in pepper. *Journal of Elementology*, *28*(3), 533-545. https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.2.2396

Yu, Y., Zhang, Q., Kang, J., Xu, N., Zhang, Z., Deng, Y., Gillings, M., Lu, T., & Qian, H. (2024). Effects of organic fertilizers on plant growth and the rhizosphere microbiome. Applied and Environmental Microbiology, 90(2). American Society for Microbiology. https://doi.org/10.1128/aem.01719-23

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BİTKİ GENETİK KAYNAKLARINDAN YARARLANARAK ÇEVRESEL ZORLUKLAR KARŞISINDA ÜRÜN VERİMİNİ VE DAYANIKLILIĞINI ARTIRMA

UTILIZING PLANT GENETIC RESOURCES TO ENHANCE CROP YIELD AND RESILIENCE AGAINST ENVIRONMENTAL CHALLENGES

Doç. Dr. Gülay ZULKADİR
Mersin Üniversitesi, Silifke Uygulamalı Teknoloji ve İşletmecilik Yüksekokulu, Organik Tarım İşletmeciliği Bölümü, Silifke/Mersin, Türkiye
e-mail: gulayzulkadir@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-3488-4011

Özet

Bu inceleme, bitki genetik kaynaklarının (PGR) çevresel streslere karşı ürün verimliliğini ve dayanıklılığını artırmadaki rolünü ele almaktadır. İklim değişikliği, kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık dalgalanmaları gibi abiyotik stresler, küresel tarımda mahsul üretimini tehdit etmektedir. PGR, özellikle germplazma koleksiyonları, yabani akrabalar ve yerel çeşitler, stres toleransı ve verim artışı için değerli genetik kaynaklar sunar. Bu kaynaklar, geleneksel ıslah yöntemleriyle birlikte yeni nesil dizileme (NGS), genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS) ve CRISPR-Cas9 gibi teknolojilerle entegre edilerek optimize edilmektedir. Fotosentetik verimliliğin artırılması, bitki mimarisinin iyileştirilmesi ve osmoregülasyon mekanizmalarının manipülasyonu, kuraklık ve tuz stresine dirençli çeşitlerin geliştirilmesinde önemli rol oynar. QTL haritalama ve işaretleyici destekli seçilim (MAS), ıslah süreçlerini hızlandırarak sürdürülebilir tarıma katkı sağlar. Ancak, genetik karmaşıklık, sınırlı erişim ve etik kaygılar gibi zorluklar, multidisipliner yaklaşımlar gerektirir. PGR'nin genomik araçlarla entegrasyonu, iklim değişikliğine uyumlu tarımsal sistemler geliştirerek küresel gıda güvenliğini güçlendirir. Bu çalışma, mevcut literatürü sentezleyerek, az kullanılan ürünlerde genetik çeşitliliğin genişletilmesi ve çevresel etkilerin izlenmesi gibi gelecekteki araştırma yönlerini önerir.

Anahtar Kelimeler: Genomik araçlar, Gen düzenleme, Nicel özellik lokusları, İklim dayanıklılığı, Moleküler ıslah

Abstract

This review examines the role of plant genetic resources (PGR) in enhancing crop productivity and resilience against environmental stresses. Abiotic factors like climate change, drought, salinity, and temperature extremes threaten global agriculture. PGR, including germplasm collections, wild relatives, and landraces, provide valuable genetic reservoirs for stress tolerance and yield improvement. Integrated with traditional breeding and advanced technologies like next-generation sequencing (NGS), genome-wide association studies (GWAS), and CRISPR-Cas9, these resources are optimized. Enhancing photosynthetic efficiency, refining plant architecture, and manipulating osmoregulation mechanisms are

critical for developing drought- and salt-resistant varieties. QTL mapping and marker-assisted selection (MAS) accelerate breeding, supporting sustainable agriculture. However, challenges such as genetic complexity, limited accessibility, and ethical concerns require multidisciplinary approaches. Integrating PGR with genomic tools fosters climate-resilient agricultural systems, strengthening global food security. This synthesis evaluates current literature, proposing research directions like expanding genetic diversity in underutilized crops and monitoring environmental impacts..

Keywords: Genomic tools, Gene editing, Quantitative trait loci, Climate resilience, Molecular breeding

1. Giriş

Bitki genetik kaynakları (PGR), tarımın temelini oluşturur ve binlerce yıldır kullanılan ve korunan bitki türlerinin ve yabani akrabalarının çeşitliliğini temsil eder (Ronald, 2014). Bu kaynaklar, ürün ıslahı ve değişen çevresel koşullarına adaptasyon için gerekli olan çok çeşitli genleri ve özellikleri kapsar. PGR, yeni çeşitlerin geliştirilmesi için ham madde sağlar ve verim artışı, besin içeriğinin iyileştirilmesi ve zararlılara ve hastalıklara karşı direnç gibi özelliklerin kazandırılmasını mümkün kılar. PGR'nin erişilebilirliği ve sürdürülebilir kullanımı, özellikle artan çevresel zorluklar karşısında küresel gıda güvenliği ve tarımsal sürdürülebilirlik için kritik öneme sahiptir (Ronald, 2014).

Modern tarım, artan küresel gıda talebini karşılamada önemli zorluklarla karşı karşıyadır. İklim değişikliği, kuraklık, tuzluluk, sıcaklık ve su baskını gibi abiyotik streslerle birlikte dünya çapında mahsül üretimini tehdit eden önemli bir faktördür (Garg ve ark., 2014; Shanker ve Venkateswarlu., 2011). Bu stresler, bitki büyümesini ve gelişimini bozarak ciddi verim kayıplarına yol açar. Ayrıca, üretimi maksimize etmek için sıkça kullanılan yoğun tarım uygulamaları, toprak verimliliğini azaltabilir, biyolojik çeşitliliği düşürebilir ve bitkileri zararlılara ve hastalıklara karşı daha savunmasız hale getirebilir. Bu zorluklarla başa çıkmak, PGR'nin potansiyelinden yararlanarak abiyotik streslere daha dayanıklı ve sürdürülebilir şekilde yetiştirilebilen ürünler geliştiren yenilikçi yaklaşımlar gerektirir. Örneğin, pamuk gibi ürünlerde kuraklık toleransını artırmak için veya lif kalite özellikleri için işaretleyici destekli seçilim (MAS) teknolojisi kullanılarak uygun çeşitler geliştirilebilir (Zulkadir & Bölek, 2014; Çelik, 2022).

Bu inceleme, genetik ve genomik kaynakların bitki üretkenliğini ve abiyotik stres adaptasyonunu artırmak için kullanımına kapsamlı bir genel bakış sunmayı amaçlar. Özel amaçlar şunlardır:

1. Germplazma koleksiyonlarının, yabani akrabaların ve yerel çeşitlerin, değerli genetik çeşitlilik kaynakları olarak rollerini incelemek;

2. Yeni nesil dizileme, genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS) ve CRISPR-Cas9 gen düzenleme gibi genomik araçların ve teknolojilerin, üretkenlik ve stres toleransıyla ilgili genlerin belirlenmesi ve manipülasyonu için uygulamasını tartışmak;
3. Mahsül üretkenliğini artırma stratejilerini değerlendirmek, bu stratejiler arasında verimle ilgili gen manipülasyonu, fotosentetik verimliliğin artırılması ve bitki mimarisinin optimize edilmesi yer alır;
4. Abiyotik stres adaptasyon mekanizmalarını analiz etmek, özellikle kuraklık toleransı, tuz stresine direnç ve sıcaklık aşırılıklarına dayanıklılık üzerinde durmak;
5. Mevcut araştırmaları sentezlemek ve alandaki zorlukları ve sınırlamaları belirlemek;
6. Gelecekteki ürün ıslah programları, küresel gıda güvenliği ve etik hususlara yönelik etkileri tartışmak.

2. Teorik ve Kavramsal Zemin

2.1. Bitki Genetiği ve Genomik Temelleri

Bitki genetiği, bitkilerde kalıtım ve varyasyonun incelenmesi, genomik ise bitki genomlarının yapısı, işlevi, evrimi ve haritalanması üzerine odaklanır. Bitki genetiği ve genomik temellerinin anlaşılması, PGR'nin etkili bir şekilde kullanılması için esastır. Bitki genomları, türler arasında boyut ve organizasyon açısından önemli ölçüde farklılık gösteren karmaşık yapılardır. Yeni nesil dizileme teknolojilerinin ortaya çıkışı, bitki genomiklerini devrimleştirmiş, tüm genomların ve transkriptomların hızlı ve uygun maliyetli dizilemesini mümkün kılmıştır (Singh ve ark., 2019; Ma ve ark., 2012). Bu, önemli tarımsal özellikleri kontrol eden genlerin ve düzenleyici unsurların belirlenmesini kolaylaştırmıştır. Ayrıca, tek nükleotid polimorfizmleri (SNP'ler) ve basit tekrar dizileri (SSR'ler) gibi genetik işaretleyiciler, genetik çeşitliliği değerlendirmek ve belirli özelliklerle ilişkili genleri haritalamak için kullanılır (Zulkadir & Bölek, 2014; Younis ve ark., 2020; Zulkadir & İdikut, 2021a;b; Çelik, 2022).

2.2. Bitki Büyümesini Etkileyen Abiyotik Stres Faktörleri

Abiyotik stresler, bitki büyümesini ve gelişimini olumsuz etkileyen çevresel faktörlerdir. Bu stresler arasında kuraklık, tuzluluk, sıcaklık aşırılıkları (sıcak ve soğuk), su baskını, besin eksikliği ve ağır metal toksisitesi yer alır (Kochar ve ark., 2020). Her bir stres faktörü, bitkilerde karmaşık fizyolojik ve moleküler tepkiler zincirini tetikler. Örneğin, kuraklık stresi su alımını azaltır, stoma kapanmasına neden olur ve fotosentezi düşürür (Sah ve ark., 2016; Zulkadir, 2020). Tuzluluk stresi iyon toksisitesine, ozmotik strese ve besin dengesizliğine yol açar (Chantre Nongpiur ve ark., 2016; Zulkadir, 2025). Sıcaklık aşırılıkları, hücresel süreçleri, protein stabilitesini ve membran bütünlüğünü bozar (Singh ve ark., 2019). Her bir abiyotik stresin bitki fizyolojisi üzerindeki spesifik etkilerinin anlaşılması, stres toleransını artırmak için hedefe yönelik stratejiler geliştirmek için kritik öneme sahiptir (Wang ve ark., 2011).

2.3. Ürün İyileştirmede Genetik Çeşitliliğin Rolü

Genetik çeşitlilik, istenen özelliklere sahip bitkilerin seçilmesi ve ıslah edilmesi için ham madde sağlayarak ürün iyileştirme için temel oluşturur (Yolcu ve ark., 2020). Bir ürün türündeki geniş

genetik çeşitlilik, ıslahçıların üretkenlik, stres toleransı ve diğer önemli tarımsal özellikler kazandıran genleri belirlemesine ve birleştirmesine olanak tanır. Yerel çeşitler, yabani akrabalar ve geleneksel çeşitler, genellikle modern çeşitlerde evcilleştirme ve belirli özellikler için seçilim nedeniyle kaybolan değerli genetik çeşitliliği barındırır. Bu genetik kaynaklar, ürünlerin genetik tabanını genişletmek ve farklı çevresel koşullara daha iyi adapte olmuş, abiyotik streslere daha dayanıklı çeşitler geliştirmek için kullanılabilir (Yolcu ve ark., 2020).

2.4. Ürün İyileştirme için Genetik Kaynaklar

2.4.1. Germplazma Koleksiyonları

Germplazma koleksiyonları, diğer adıyla gen bankaları, bitki türlerinin genetik çeşitliliğini koruyan depolardır. Bu koleksiyonlar, yerel çeşitler, yabani akrabalar ve iyileştirilmiş çeşitler de dahil olmak üzere geniş bir erişim yelpazesini içerir (Shivhare ve Lata, 2017; Zulkadir & İdikut, 2021a;b). Germplazm koleksiyonları, ıslahçılara çeşitli gen ve özellik havuzuna erişim sağlayarak ürün iyileştirmeye imkan tanıyan değerli kaynaklardır (Zulkadir & Bölek, 2014). Bu koleksiyonlar, doğrudan seçilim, hibridizasyon ve introgressiyon ıslahı gibi çeşitli yöntemlerle kullanılır. Yüksek verimli fenotipleme ve genomik araçlar, germplazma koleksiyonlarını karakterize etmek ve istenen özelliklere sahip erişimleri belirlemek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Younis ve ark., 2020; Çelik, 2022).

2.4.2. Genetik Rezervuarlar Olarak Yabani Akrabalar ve Yerel Çeşitler

Yabani akrabalar ve yerel çeşitler, abiyotik streslere direnç ve diğer istenen özellikleri sağlayan genleri barındıran önemli genetik rezervuarlardır (Yolcu ve ark., 2020). Yabani akrabalar, evcilleştirilmemiş ve ekili ürünlere yakın akraba olan türlerdir. Yerel çeşitler, belirli coğrafi bölgelerde zamanla evrilmiş ‘yerel’ olarak adapte olmuş çeşitlerdir. Bu genetik kaynaklar, evcilleştirme ve verim ile diğer tarımsal özellikler için seçilim nedeniyle modern çeşitlerde sıklıkla kaybolan özellikleri barındırır. Introgressiyon ıslahı, yabani akrabalar veya yerel çeşitlerin iyileştirilmiş çeşitlerle çaprazlanması yoluyla istenen genlerin ürünlere aktarılması için yaygın bir yöntemdir (Dormatey ve ark., 2020).

2.5. Özellik Keşfi için Yüksek Verimli Fenotipleme

Yüksek verimli fenotipleme (High-Throughput Phenotyping; HTP), bitki özelliklerinin büyük ölçekte hızlı ve tahribatsız ölçümünü sağlayan bir teknoloji setidir. HTP platformları, büyüme oranı, biyokütle, yaprak alanı, klorofil içeriği ve stres toleransı gibi geniş bir özellik yelpazesini değerlendirmek için kullanılabilir. HTP, stres koşullarında üstün performans gösteren erişimleri belirlemek için güçlü bir araçtır. HTP tarafından üretilen veriler, genomik verilerle birleştirilerek istenen özelliklerle ilişkili genleri ve işaretleyicileri belirler ve böylelikle ıslah sürecini hızlandırır (Mangin ve ark., 2017).

2.6. Genomik Araçlar ve Teknolojiler

2.6.1. Yeni Nesil Dizileme Uygulamaları

Yeni nesil dizileme (Next Generation Sequencing; NGS) teknolojileri, bitki genomlarında, tüm genomların, transkriptomların ve epigenomların hızlı ve uygun maliyetli dizilemesini mümkün kılmıştır (Singh ve ark., 2019; Ma ve ark., 2012). Ürün iyileştirmedeki NGS uygulamaları şunlardır:

1. Genom dizileme ve birleştirme, bir bitki türündeki genlerin ve düzenleyici unsurların kapsamlı bir haritasını sağlar;
2. Transkriptom dizileme (RNA-Seq), stres koşullarında farklı şekilde ifade edilen genleri belirlemeyi sağlar;
3. Dizileme yoluyla genotipleme (Genotyping-By-Sequencing; GBS), genetik haritalama ve ilişkilendirme çalışmaları için büyük popülasyonların hızlı ve uygun maliyetli genotiplemesini mümkün kılar;
4. Epigenom dizileme, gen ifadesi ve stres tepkilerini düzenlemede epigenetik modifikasyonların rolüne dair içgörüler sağlar (Roy, 2016).

2.6.2. Genom Çapında İlişkilendirme Çalışmaları

Genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (Genome-Wide Association Studies; GWAS), belirli özelliklerle ilişkili genetik varyantları belirlemek için kullanılır. GWAS, büyük bitki popülasyonlarının genomlarını tarayarak, SNP'ler (Single Nucleotide Polymorphism) gibi genetik varyasyonları fenotipik verilerle ilişkilendirir. GWAS, verim ve stres toleransı gibi karmaşık özellikleri kontrol eden nicel özellik lokuslarını (Quantitative Trait Locus; QTL'ler) belirleyebilir (Ma ve ark., 2012). GWAS tarafından üretilen bilgiler, işaretleyici destekli seçilim (Marker-Assisted Selection; MAS) için işaretleyiciler geliştirmek için kullanılarak ıslahçıların istenen özelliklere sahip bitkileri daha verimli seçmesini sağlar (Zou ve ark., 2016). Bu yaklaşım, kuraklığa karşı toleranslı pamuk çeşitleri geliştirmede etkili olabilir (Çelik, 2022).

2.6.3. CRISPR-Cas9 ve Gen Düzenleme Teknikleri

CRISPR-Cas9, canlı organizmalarda DNA dizilerinin hassas bir şekilde değiştirilmesini sağlayan devrim niteliğinde bir gen düzenleme teknolojisidir (Hyun, 2020; Jain, 2015). CRISPR-Cas9 sistemi, moleküler bir makas gibi davranan Cas9 enzimi ve genoma belirli bir hedef diziye yönlendiren bir kılavuz RNA'dan (gRNA) oluşur. CRISPR-Cas9, genleri devre dışı bırakmak, yeni genler eklemek veya mevcut genleri yüksek hassasiyetle değiştirmek için kullanılabilir. Ürün iyileştirmede, CRISPR-Cas9, verimi artırmak, besin içeriğini iyileştirmek ve abiyotik streslere direnci artırmak için kullanılmaktadır (Sedeek ve ark., 2019; Petolino ve ark., 2016).

2.7. Ürün Üretkenliğini Artırma

2.7.1. Verimle İlgili Genlerin Belirlenmesi ve Manipülasyonu

Verim, birden fazla gen tarafından kontrol edilen karmaşık bir özelliktir. Verimle ilgili genlerin belirlenmesi ve manipülasyonu, ürün iyileştirme programlarının ana hedefidir. Fotosentez, besin alımı ve çiçeklenme zamanı gibi süreçlerde rol oynayan birkaç gen belirlenmiştir. Bu

genler, geleneksel ıslah, genetik mühendisliği ve gen düzenleme gibi çeşitli yöntemlerle manipüle edilerek ürün üretkenliği artırılabilir (Varshney ve Tuberosa, 2013).

2.7.2. Fotosentetik Verimliliğin İyileştirilmesi

Fotosentez, bitkilerin ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürdüğü süreçtir. Fotosentetik verimliliğin artırılması, biyokütle üretimini ve ürün verimi artırabilir. Fotosentetik verimliliği artırma stratejileri şunlardır:

1. Yaprak mimarisini optimize ederek ışık yakalama verimliliğini artırmak;
2. Calvin döngüsünde yer alan enzimleri manipüle ederek karbon fiksasyon verimliliğini artırmak;
3. Özellikle C3 bitkilerinde fotosentetik verimliliği azaltan fotorezpirasyonu azaltmak (Amin ve ark., 2019).

2.7.3. Bitki Mimarisinin ve Biyokütle Dağılımının Optimize Edilmesi

Bitki mimarisi, bitki yüksekliği, dallanma düzeni ve yaprak açısı gibi özellikleri içerir ve verimi önemli ölçüde etkileyebilir. Bitki mimarisinin optimize edilmesi, ışık yakalamayı iyileştirir, gölgelenmeyi azaltır ve kaynak dağılımının verimliliğini artırır. Biyokütle dağılımı, kökler, gövdeler ve yapraklar gibi farklı bitki organları arasında kaynakların dağılımını ifade eder ve verimi belirlemede rol oynar. Bitki mimarisini ve biyokütle dağılımını kontrol eden genlerin manipülasyonu, ürün üretkenliğini artırabilir.

2.8. Abiyotik Stres Adaptasyon Stratejileri

2.8.1. Kuraklık Tolerans Mekanizmaları ve Genetik İyileştirmeler

Kuraklık toleransı, bitkilerin su sınırlı koşullarda hayatta kalma ve üreme yeteneğidir. Bitkiler, kuraklık stresine tolerans göstermek için çeşitli mekanizmalar kullanır:

1. Hücre turgorunu korumak için ilgili çözünen maddelerin birikimi olan ozmotik ayarlama;
2. Transpirasyon yoluyla su kaybını azaltan stoma kapanması;
3. Topraktan su alımını artıran kök sistemi modifikasyonu;
4. Kuraklık stresinin neden olduğu oksidatif hasardan hücreleri koruyan antioksidan savunma sistemi (Sah ve ark., 2016) ve kuraklık toleransı için genetik iyileştirmeler, bu mekanizmaları kontrol eden genlerin belirlenmesini ve manipülasyonunu içerir (Wang ve ark., 2011). Patates genotiplerinde kuraklık stresinin yaprak içeriği üzerindeki etkisi, kısıtlı su rejimleri kullanılarak incelenebilirliği (Çelik, 2023) bu alanda yapılan çalışmalardan birini içermektedir.

2.8.2. Tuz Stresi Direnci ve Osmoregülasyon

Tuz stresi direnci, bitkilerin tuzlu topraklarda hayatta kalma ve üreme yeteneğidir. Tuz stresi, iyon toksisitesine, ozmotik strese ve besin dengesizliğine neden olur. Bitkiler, tuz stresine tolerans göstermek için şu mekanizmaları kullanır:

1. Toksik iyonların alımını önleyen iyon dışlama;
2. Toksik iyonları vakuollere ayıran iyon bölmelendirme;
3. Hücre turgorunu korumak için ilgili çözünen maddelerin birikimi olan osmoregülasyon;
4. Tuz stresinin neden olduğu oksidatif hasardan hücreleri koruyan antioksidan savunma sistemi (Chantre Nongpiur ve ark., 2016; Shabala, 2013). Tuz stresi direnci için genetik iyileştirmeler, bu mekanizmaları kontrol eden genlerin belirlenmesini ve manipülasyonunu içerir.

2.8.3. Sıcaklık Aşırılıkları ve İklim Değişikliği Dayanıklılığı

Sıcaklık aşırılıkları, sıcak ve soğuk stres dahil, bitki büyümesini ve gelişimini ciddi şekilde etkileyebilir. Bitkiler, sıcaklık aşırılıklarına tolerans göstermek için şu mekanizmaları kullanır:

1. Proteinlerin denatürasyonunu koruyan ısı şok proteinleri (Heat Shock Proteins; HSP'ler);
2. Membran bileşimi ve protein ifadesinde değişiklikler içeren soğuk aklimasyonu;
3. Sıcaklık stresinin neden olduğu oksidatif hasardan hücreleri koruyan antioksidan savunması (Singh ve ark., 2019). Sıcaklık stresi toleransı için genetik iyileştirmeler, bu mekanizmaları kontrol eden genlerin belirlenmesini ve manipülasyonunu içerir. Sıcaklık aşırılıklarına toleransın artırılması, iklim değişikliğine dayanıklı ürünler geliştirmek için kritik öneme sahiptir.

3. Analiz ve Sentez

3.1. Genetik ve Genomik Yaklaşımların Entegrasyonu

Genetik ve genomik yaklaşımların entegrasyonu, ürün iyileştirmeyi hızlandırmak için esastır. Geleneksel ıslah yöntemlerini modern genomik araçlarla birleştirmek, istenen genlerin daha verimli belirlenmesini ve manipülasyonunu sağlar. Örneğin, GWAS, stres toleransıyla ilişkili QTL'leri belirlemek için kullanılabilir ve bu QTL'lere bağlı işaretleyiciler, işaretleyici destekli seçilimde kullanılarak ıslah sürecini hızlandırır. Benzer şekilde, CRISPR-Cas9, genomik analiz yoluyla belirlenen genleri hassas bir şekilde düzenlemek için kullanılabilir, hızlı ve hedefe yönelik ürün iyileştirme sağlar (Sedeek ve ark., 2019).

3.2. Üretkenlik ve Stres Adaptasyonu Arasındaki Sinerjiler

Bitkilerde üretkenlik ve stres adaptasyonu arasında genellikle ödünleşimler vardır. Yüksek verim için seçilim, bazen stres toleransını azaltabilir veya tam tersi etkide bulunabilir. Ancak, bu özellikler arasında sinerjiler de vardır. Örneğin, fotosentetik verimliliğin artırılması hem verimi hem de stres toleransını artırabilir. Benzer şekilde, kök mimarisinin optimize edilmesi, su ve besin alımını iyileştirerek üretkenliği ve kuraklık toleransını artırabilir. Bu sinerjilerin

belirlenmesi ve kullanılması, hem yüksek verimli hem de abiyotik streslere dayanıklı ürünler geliştirmek için kritik öneme sahiptir.

3.3. Mevcut Araştırmalardaki Zorluklar ve Sınırlamalar

Genetik ve genomik kaynakların ürün iyileştirme için kullanımında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olsa da, mevcut araştırmalarda hala zorluklar ve sınırlamalar bulunmaktadır. Bunlar şunlardır:

1. Abiyotik stres toleransının, birden fazla gen tarafından kontrol edilen ve çevresel faktörlerden etkilenen karmaşıklığı;
2. Bazı ürün türleri için genetik kaynakların sınırlı erişilebilirliği;
3. Model bitkilerden ürünlere araştırma bulgularının aktarılmasındaki zorluk;
4. Genetik modifikasyonun istenmeyen sonuçlarının potansiyeli;
5. Genetik olarak modifiye edilmiş ürünlerle ilgili düzenleyici engeller ve kamuoyu algısı sorunları (Gasser ve Fraley, 1989). Bu zorluklarla başa çıkmak, devam eden araştırma ve yeniliklerin yanı sıra etik ve toplumsal etkilerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu inceleme, bitki genetik kaynaklarının (PGR) ve genomik teknolojilerin, ürün verimliliğini artırma ve abiyotik streslere karşı adaptasyonu güçlendirme potansiyelini ortaya koymuştur. Germplazma koleksiyonları, yabani akrabalar ve yerel çeşitler, tarımsal özelliklerin geliştirilmesi için zengin bir genetik çeşitlilik sunmaktadır. Yeni nesil dizileme (NGS), genom çapında ilişkilendirme çalışmaları (GWAS) ve CRISPR-Cas9 gibi gen düzenleme teknolojileri, verim, stres toleransı ve besin içeriği gibi kritik özelliklere sahip genlerin belirlenmesi ve manipülasyonunda çığır açmıştır (Sedeek et al., 2019). Ürün verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler, fotosentetik verimliliğin optimizasyonu, bitki mimarisinin iyileştirilmesi ve verimle ilişkili genlerin hedefli manipülasyonunu içerirken; abiyotik stres adaptasyonu, kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık aşırılıklarına karşı direnç mekanizmalarına odaklanmıştır. Genetik ve genomik yaklaşımların ürün ıslah programlarına entegrasyonu, küresel gıda güvenliği ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından vazgeçilmez bir rol oynamaktadır (Ronald, 2014).

4.1. Gelecekteki Ürün Islah Programları için Etkiler

Genetik ve genomik araçlar, ürün ıslah programlarını dönüştürme potansiyeline sahiptir. Bu teknolojiler, ıslahçıların genetik çeşitlilikten yararlanarak yeni genler ve özellikler keşfetmesini, işaretleyici destekli seçilim (MAS) ve genomik seçilim ile ıslah süreçlerini hızlandırmasını sağlamaktadır. Özellikle CRISPR-Cas9 gibi hassas gen düzenleme teknikleri, verim ve stres toleransını artırmak için genlerin hedefli bir şekilde düzenlenmesine olanak tanır (Sedeek et al., 2019). Bu araçlar, değişen çevresel koşullarına daha iyi adapte olmuş, yüksek verimli ve dayanıklı ürün çeşitlerinin geliştirilmesini mümkün kılarak, iklim değişikliği gibi küresel zorluklara karşı tarımsal üretimi güçlendirebilir. Ancak, bu teknolojilerin etkin

kullanımı, genetik kaynakların erişilebilirliğini artırmak ve ıslah programlarının yerel ihtiyaçlara uyarlanmasını gerektirir.

4.2. Küresel Gıda Güvenliği Üzerindeki Potansiyel Etkiler

Genetik ve genomik kaynakların kullanımı, küresel gıda güvenliğini sağlama yolunda önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık aşırılıklarına dayanıklı ürün çeşitlerinin geliştirilmesi, özellikle iklim değişikliğinden etkilenen bölgelerde verim kayıplarını azaltabilir ve gıda arzında istikrar sağlayabilir (Ronald, 2014). Ayrıca, ürünlerin besin içeriğinin iyileştirilmesi, mikro besin eksikliklerini azaltarak insan sağlığına katkıda bulunabilir. Bu yaklaşımlar, sürdürülebilir tarım uygulamalarını destekleyerek, herkesin yeterli, güvenli ve besleyici gıdaya erişimini sağlama hedefine hizmet eder. Ancak, bu faydaların küresel ölçekte yaygınlaşması için, teknolojilerin erişilebilirliği ve adil dağıtımı kritik öneme sahiptir. Örneğin, pamuk gibi ürünlerde su eksikliği altında gelişmiş genotiplerin taranması, ıslah programlarını destekleyebilir (Çelik, 2024 a;b).

4.3. Etik Hususlar ve Kamuoyu Algısı

Genetik ve genomik teknolojilerin tarımda kullanımı, etik ve toplumsal tartışmaları da beraberinde getirmektedir. Genetik olarak modifiye edilmiş ürünlerin (Genetically Modified Organism; GMO) biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri, herbisit dirençli yabani otların ortaya çıkması ve insan sağlığı üzerindeki olası riskler, kamuoyunda endişe yaratmaktadır (Bressan et al., 2009). Bu endişeler, titiz risk değerlendirmeleri, şeffaf iletişim ve kamu katılımı ile ele alınmalıdır. Ayrıca, genetik iyileştirme teknolojilerinin faydalarının adil bir şekilde paylaşılması, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki küçük ölçekli çiftçilerin bu teknolojilere erişimini sağlamak açısından önemlidir. Bu, hem etik bir sorumluluk hem de küresel gıda güvenliğini artırmak için bir gerekliliktir.

4.4. Gelecekteki Araştırma Yönleri

Bu alandaki araştırmalar, genetik ve genomik kaynakların tarımsal uygulamalarda daha etkin kullanımını sağlamak için birkaç temel yöne odaklanmalıdır. İlk olarak, az kullanılan ürün türleri için genetik kaynakların genişletilmesi, genetik çeşitliliği artırmak açısından kritik öneme sahiptir. İkinci olarak, daha verimli ve uygun maliyetli genomik araçların geliştirilmesi, ıslah süreçlerini daha erişilebilir hale getirebilir. Üçüncü olarak, abiyotik stres toleransının genetik ve fizyolojik mekanizmalarının daha iyi anlaşılması, hedefe yönelik ıslah stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanır. Ayrıca, tek bir ürün çeşidinde birden fazla stres toleransı özelliğini birleştirme stratejileri, gelecekteki ürün geliştirme çalışmalarında öncelikli olmalıdır. Genetik olarak modifiye edilmiş ürünlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi de önemli bir araştırma alanıdır. Son olarak, genetik teknolojilerin tarımda kullanımı konusunda kamuoyu ile etkili iletişim kurularak, bilgiye dayalı karar alma süreçleri teşvik edilmelidir (Sedeek et al., 2019).

4.5. Sürdürülebilir Tarımda Genetik ve Genomik Kaynakların Rolü

Genetik ve genomik kaynaklar, sürdürülebilir tarımın temel taşlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Abiyotik streslere dayanıklı ürün çeşitlerinin geliştirilmesi, sulama, gübre ve pestisit kullanımını azaltarak çevre dostu tarım uygulamalarına olanak tanır. Aynı zamanda, ürünlerin besin içeriğinin iyileştirilmesi, daha sağlıklı diyetlere katkıda bulunarak sağlık sistemleri üzerindeki yükü hafifletebilir (Bressan et al., 2009). Bu teknolojilerin sorumlu ve sürdürülebilir kullanımı, gıda güvenliğini sağlama, çevresel kaynakları koruma ve gelecek nesiller için insan sağlığını iyileştirme hedeflerine ulaşmada kritik bir rol oynayacaktır. Ancak, bu hedeflere ulaşmak için bilimsel ilerlemeler kadar etik, toplumsal ve ekonomik boyutların da dikkatle ele alınması gerekmektedir.

Referanslar

1. Amin, A. B., Rathnayake, K. N., Yim, W. C., Garcia, T. M., Wone, B., Cushman, J. C., & Wone, B. W. M. (2019). Crassulacean acid metabolism abiotic stress-responsive transcription factors: A potential genetic engineering approach for improving crop tolerance to abiotic stress. *Frontiers in Plant Science, 10*, Article 129. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00129
2. Bressan, R., Bohnert, H., & Zhu, J. K. (2009). Abiotic stress tolerance: From gene discovery in model organisms to crop improvement. *Molecular Plant, 2*(1), 1–2. https://doi.org/10.1093/mp/ssn097
3. Celik, S. (2022). Assessıng genetıc dıversıty and populatıon structure analysıs ın upland cotton germplasm through mıcrosatellıtes. Applied Ecology & Environmental Research, 20(5).
4. Celik, S. (2024a). Screening Some Advanced Upland Cotton (Gossypium Hirsutum L.) Genotypes Tolerance Under Water Deficit. Türk Doğa Ve Fen Dergisi, 13(1), 104-110. https://doi.org/10.46810/tdfd.1386233
5. Celik, S. (2024b). Screening the Polyethylene Glycol 6000 Induced Upland Cotton (Gossypium hirsutum L.) Cultivars Drought Response at The Germination Stage. Uluslararası Gıda Tarım Ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 4(1), 1-9.
6. Chantre Nongpiur, R., Singla-Pareek, S. L., & Pareek, A. (2016). Genomics approaches for improving salinity stress tolerance in crop plants. *Current Genomics, 17*(4), 343–357. https://doi.org/10.2174/1389202917666160331202517
7. Çelik, S. (2023). Drought Stress Effect on Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Genotypes Leaves Content Using Restricted Water Regime. Academic Research and Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences. Platannus, ISBN:978-625-6517-64-6, 1-407.
8. Dormatey, R., Sun, C., Ali, K., Coulter, J. A., Bi, Z., & Bai, J. (2020). Gene pyramiding for sustainable crop improvement against biotic and abiotic stresses. *Agronomy, 10*(9), Article 1255. https://doi.org/10.3390/agronomy10091255
9. Garg, R., Varshney, R. K., & Jain, M. (2014). Molecular genetics and genomics of abiotic stress responses. *Frontiers in Plant Science, 5*, Article 398. https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00398
10. Gasser, C. S., & Fraley, R. T. (1989). Genetically engineering plants for crop improvement. *Science, 244*(4910), 1293–1299. https://doi.org/10.1126/science.244.4910.1293

11. Hyun, T. K. (2020). CRISPR/Cas-based genome editing to improve abiotic stress tolerance in plants. *Botanica Serbica, 44*(2), 121–127. https://doi.org/10.2298/BOTSERB2002121H
12. Jain, M. (2015). Function genomics of abiotic stress tolerance in plants: A CRISPR approach. *Frontiers in Plant Science, 6*, Article 375. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00375
13. Kochar, D., Sushil, & Rahul. (2020). A review on the impact of abiotic stress on plant growth and crop production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9*(7), 3958–3970. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.465
14. Ma, Y., Qin, F., & Tran, L.-S. P. (2012). Contribution of genomics to gene discovery in plant abiotic stress responses. *Molecular Plant, 5*(6), 1176–1178. https://doi.org/10.1093/mp/sss085
15. Mangin, B., Casadebaig, P., Cadic, E., Blanchet, N., Boniface, M. C., Carrère, S., ... & Langlade, N. B. (2017). Genetic control of plasticity of oil yield for combined abiotic stresses using a joint approach of crop modelling and genome-wide association. *Plant, Cell & Environment, 40*(10), 2276–2291. https://doi.org/10.1111/pce.12961
16. Petolino, J. F., Srivastava, V., & Daniell, H. (2016). Editing plant genomes: A new era of crop improvement. *Plant Biotechnology Journal, 14*(2), 435–436. https://doi.org/10.1111/pbi.12542
17. Ronald, P. C. (2014). Lab to farm: Applying research on plant genetics and genomics to crop improvement. *PLoS Biology, 12*(6), Article e1001878. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001878
18. Roy, S. (2016). Function of MYB domain transcription factors in abiotic stress and epigenetic control of stress response in plant genome. *Plant Signaling & Behavior, 11*(1), Article e1117723. https://doi.org/10.1080/15592324.2015.1117723
19. Sah, S. K., Reddy, K. R., & Li, J. (2016). Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 571. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00571
20. Sedeek, K. E., Mahas, A., & Mahfouz, M. (2019). Plant genome engineering for targeted improvement of crop traits. *Frontiers in Plant Science, 10*, Article 114. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00114
21. Shabala, S. (2013). Learning from halophytes: Physiological basis and strategies to improve abiotic stress tolerance in crops. *Annals of Botany, 112*(7), 1209–1221. https://doi.org/10.1093/aob/mct205
22. Shanker, A., & Venkateswarlu, B. (Eds.). (2011). *Abiotic stress response in plants: Physiological, biochemical and genetic perspectives*. Books on Demand.
23. Shivhare, R., & Lata, C. (2017). Exploration of genetic and genomic resources for abiotic and biotic stress tolerance in pearl millet. *Frontiers in Plant Science, 7*, Article 2069. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02069
24. Singh, B., Salaria, N., Thakur, K., Kukreja, S., Gautam, S., & Goutam, U. (2019). Functional genomic approaches to improve crop plant heat stress tolerance. *F1000Research, 8*, Article 1721. https://doi.org/10.12688/f1000research.19840.1
25. Varshney, R. K., & Tuberosa, R. (2013). Translational genomics in crop breeding for biotic stress resistance: An introduction. In R. K. Varshney & R. Tuberosa (Eds.), *Translational genomics for crop breeding: Biotic stress* (Vol. 1, pp. 1–9). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118728482

26. Wang, X., Gao, H., Wang, Z., & Li, J. (2011). Molecular and genetic analysis of abiotic stress resistance of forage crops. In H. Budak (Ed.), *Plants and environment* (pp. 207–226). IntechOpen. https://doi.org/10.5772/24832
27. Yolcu, S., Alavilli, H., & Lee, B.-H. (2020). Natural genetic resources from diverse plants to improve abiotic stress tolerance in plants. *International Journal of Molecular Sciences, 21*(22), Article 8567. https://doi.org/10.3390/ijms21228567
28. Younis, A., Ramzan, F., Ramzan, Y., Zulfiqar, F., Ahsan, M., & Lim, K. B. (2020). Molecular markers improve abiotic stress tolerance in crops: A review. *Plants, 9*(10), Article 1374. https://doi.org/10.3390/plants9101374
29. Zou, C., Wang, P., & Xu, Y. (2016). Bulked sample analysis in genetics, genomics and crop improvement. *Plant Biotechnology Journal, 14*(10), 1941–1955. https://doi.org/10.1111/pbi.12559
30. Zulkadir, G. & Bölek, Y. (2014). Pamukta lif uzamasıyla ilişkili genlerin polimorfizmi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3(1), 79-98.
31. Zulkadir, G. (2025). Salt Tolerance of Different Maize Genotypes during Germination and Seedling Stages. Phyton, 94(6), 1879. 10.32604/phyton.2025.064144
32. Zulkadir, G. 2020. Effects of H_2O_2 on the drought stress in plants. Academic Studies in Agriculture, Forestry and Aquaculture Sciences. Gece Kitaplığı, 1-27.
33. Zulkadir, G., & İdikut, L. (2021a). Genetic Diversity and Phylogenetic Relatıonshıps of Turkish Local Popcorn (Zea mays everta) Populations by Simple Sequence Repeats (SSRs). Journal of Agricultural Sciences, 27(2), 170-178.
34. Zulkadir, G., & İdikut, L. (2021b). Genetic Diversity and Phylogenetic Relatıonshıps of Turkish Local Popcorn (Zea mays everta) Populations by Simple Sequence Repeats (SSRs). Journal of Agricultural Sciences, 27(2), 170-178.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EFFECTS OF DIFFERENT IRRIGATION LEVELS AND PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGPR) APPLICATIONS ON MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF PICKLING CUCUMBER (*Cucumis Sativus* L.) GROWN UNDER GREENHOUSE CONDITIONS

Dr. Hasan ER

Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bingol University,

hasaner@bingol.edu.tr - 0000-0002-7880-8697

Prof. Dr. Yasemin KUŞLU

Department of Agricultural Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Atatürk University,

ykuslu@atauni.edu.tr - 0000-0003-4008-1004

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the effects of different irrigation levels and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) applications on the morphological development of pickling cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under greenhouse conditions. The experiment was carried out during the 2021 and 2022 growing seasons at the greenhouse facilities of the Faculty of Agriculture, Atatürk University, using a completely randomized design with three irrigation levels (I100 = 100%, I70 = 70%, I40 = 40% of cumulative evaporation) and four bacterial doses (R0, R1, R3, R5). Morphological parameters including plant height, stem diameter, leaf number, root length, and root fresh and dry weights were evaluated. Statistical analyses revealed that both irrigation levels and PGPR doses had significant effects on plant development ($p < 0.05$). The lowest values were recorded in the water-deficient and uninoculated control group (I40R0), while the highest values were observed in the fully irrigated group treated with the highest bacterial dose (I100R5). Notably, under deficit irrigation (I40 and I70), PGPR applications led to significant improvements in root development (length, fresh and dry weights). These findings indicate the supportive role of PGPR in enhancing morphological growth and its potential in mitigating drought stress. In conclusion, the use of PGPR in combination with appropriate irrigation strategies may serve as an effective biological tool to optimize the growth of cucumber plants under deficit irrigaiton conditions.

Keywords: Deficit irrigation, plant growth-promoting rhizobacteria, pickling cucumber

1. INTRODUCTION

Water stress is considered one of the major abiotic stress factors limiting sustainable agricultural production worldwide (Javed et al., 2016). Due to climate change, decreasing rainfall in some regions and the increasing frequency of extreme temperature events have made drought-related challenges in agricultural areas more pronounced. It is projected that by 2050, more than 50% of the world's arable land will experience significant plant growth limitations due to drought stress (Lin et al., 2020). This situation highlights the urgent need to develop strategies aimed at enhancing plant tolerance to drought stress in order to minimize yield losses and ensure sustainable crop production.

Recent studies have shown that certain free-living bacterial species in the rhizosphere, known as Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), can activate tolerance mechanisms in plants exposed to water stress (Bouremani et al., 2023). In addition to supporting plant development, PGPR play a crucial role in enhancing resistance to both biotic and abiotic stresses through various physiological mechanisms, such as regulating root development, osmoregulation, activation of antioxidant defense systems, and improving water use efficiency (Gouda et al., 2018; Meenakshi et al., 2019). Numerous studies conducted within this context have demonstrated that different PGPR strains can significantly improve plant growth under drought conditions and protect plants against the harmful effects of stress (Ngumbi et al., 2016; Khan et al., 2020; Alaskar and Al-Shwaiman, 2023). The potential of these microorganisms to enhance agricultural productivity by modulating plant–rhizosphere interactions is particularly important in regions with limited water resources (Gontia-Mishra et al., 2016).

Pickling cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants, usually grown in greenhouse conditions, require high water requirements throughout their life cycle (Wang vd. 2012). Therefore, drought stress stands out as an important limiting factor for plant growth and development. Although some abiotic stimulants have been shown to increase drought tolerance in cucumber, studies on biotic stimulants, particularly rhizobacteria (PGPR), with similar effects are limited. The aim of this study was to determine the effects of different irrigation levels and plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) doses applied to pickling cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown under greenhouse conditions on morphological traits such as plant height, stem diameter, leaf number, root length, and root fresh and dry weight. Furthermore, the potential contribution of PGPR applications to plant growth under deficit irrigation conditions was also evaluated. In this context, the effects of various PGPR doses applied with different irrigation levels on plant growth were comparatively analyzed.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Experimental Site

The experiment was conducted in the research greenhouse of the Department of Agricultural Structures and Irrigation, Faculty of Agriculture, Atatürk University (Erzurum, Türkiye; 39°54′12″N, 41°14′21″E; 1860 m a.s.l.) during the 2021 and 2022 growing seasons.

The study area is located in a semi-arid climate zone, where summers are hot and dry, while winters are cold and snowy. In Erzurum, the long-term average annual temperature is 5.7°C. The lowest average temperature is observed in January at -14.0°C, and the highest average temperature occurs in August at 27.2°C. The region receives an average annual precipitation of 432 mm, with an average relative humidity of 63.58% (TSMS, 2025). The experimental soil is slightly alkaline (pH 7.67) with moderate salinity (EC 0.58 dS m^{-1}). The lime content of the soil is 12%, and the organic matter content is relatively low at 2.02%. In terms of texture, the soil is classified as silty loam. Regarding its water retention characteristics, the field capacity was measured as 23.74%, and the wilting point as 14.11%, indicating that the soil has a moderate water-holding capacity.

2.2. Experimental Design and Treatments

The experiment was conducted in a completely randomized design with five replications. Three irrigation levels were applied: I100 = 100% (full irrigation/control), I70 = 70%, and I40 = 40% of cumulative evaporation measured from the Class A pan. Four levels of bacterial application were used: R0 = control (no bacterial solution), R1 = one dose, R3 = three doses, and R5 = five doses of the bacterial solution mixture. The bacterial strains used in this study were obtained from the culture collection unit of the Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Atatürk University. Pickling cucumber (Cucumis sativus L.) seeds were sown in seedling trays, and the seedlings were transplanted into 10-liter pots at the 2–3 true leaf stage. The growing medium was prepared as a mixture of 60% soil, 30% peat, and 10% perlite.

The bacterial suspension was prepared at a concentration of 1×10^8 cfu mL^{-1}, and a solution containing 0.2 g of sucrose per 10 mL of suspension (10 mg mL^{-1}) was used as the carrier medium. Applications were performed in 10 mL doses. The R0 group served as the control (no bacterial application), while in the other groups, the first application was made simultaneously with sowing, followed by additional doses at 10-day intervals. The bacterial suspensions were injected directly into the root zones of the seedlings.

The plants were irrigated manually using tap water with an electrical conductivity of 0.24 dS m^{-1}, a sodium adsorption ratio (SAR) of 0.44, and a pH value of 7.38. The amount of irrigation water to be applied was calculated based on evaporation values measured from Class A pans made of galvanized steel (Blanco and Folegatti, 2004). Three irrigation levels were established by using specific percentages of the total evaporation from the pan (100%, 70%, and 40%), corresponding to I100, I70, and I40, respectively. These irrigation levels were applied throughout the experiment. The seedlings were irrigated at three-day intervals. The first watering was carried out simultaneously with planting and all pots were completely saturated until drainage began from the pot bottom. For subsequent irrigations, the depth of irrigation water was determined based on the following equation:

$$I = E_p \times IR$$

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

where, I is the irrigation water depth (mm), Ep is the depth of water evaporated from the reduced pan at three-day intervals during the seedling growth period (mm), and IR is the irrigation rate. IR values were found to be 1.0, 0.70, and 0.40 for the I100, I70, and I40 irrigation levels, respectively.

2.2. Growth parameters

All plants were harvested 100 days after planting and plant height, stem diameter, number of leaves, root length, root fresh weights and root dry weights were determined.

2.2. Growth parameters

Data were subjected to analysis of variance (ANOVA) using JMP v19. The experimental design was a completely randomized design with five replications. Differences between means were compared using the least significant difference test ($p < 0.05$).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The effects of different irrigation levels and bacterial applications on plant height, stem diameter, leaf number, root length and root weight are given in Figure 1.

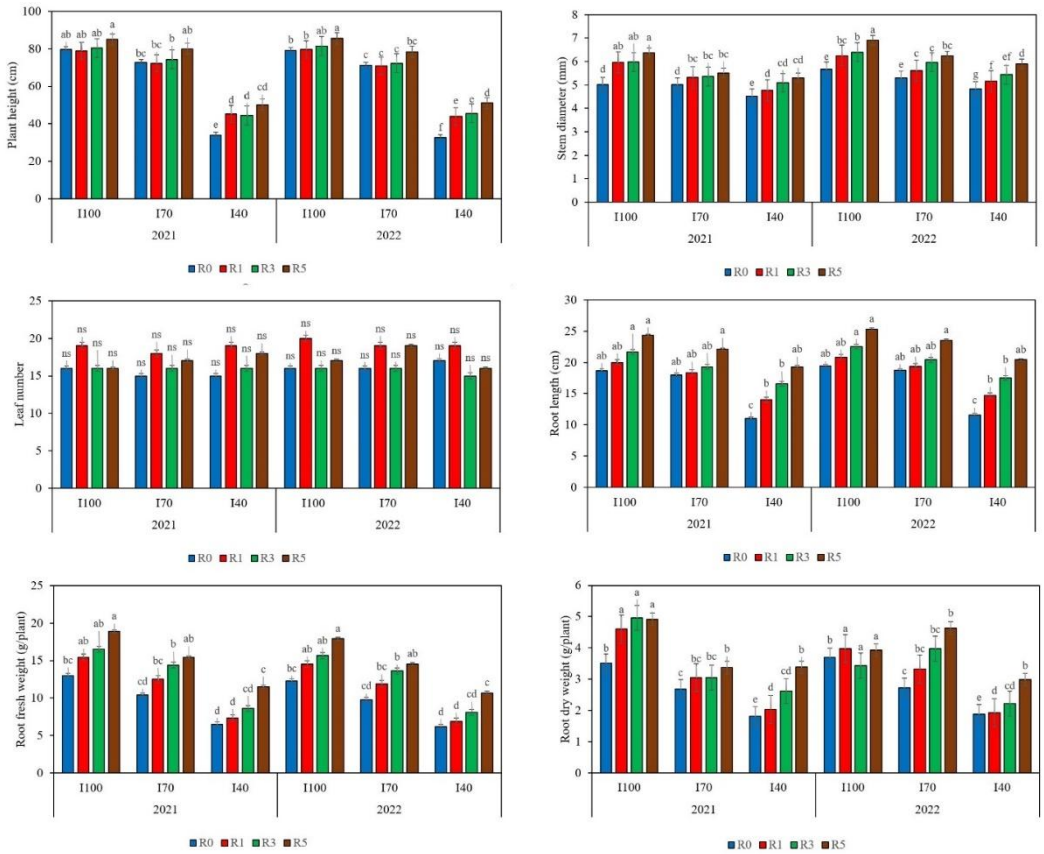


Figure 1. Effect of different irrigation levels and bacterial applications on morphological characteristics

In this study, the effects of different irrigation levels and bacterial applications on the morphological development of pickling cucumber plants were statistically evaluated. The effects on plant height, stem diameter, root length, root freshness and dry weight were found to be significant ($p < 0.05$), while no statistically significant difference was observed on leaf number ($p > 0.05$).

According to Figure 1, the morphological parameters measured in the study varied in the following ranges: plant height 32.10–90.25 cm, stem diameter 4.53–6.91 mm, number of leaves 15–19, root length 11.00–25.30 cm, root fresh weight 6.20–18.90 g/plant and root dry weight 1.82–4.96 g/plant.

In both years, the lowest mean values for all growth parameters were recorded in the I40R0 treatment, representing low irrigation and bacteria-free conditions. This suggests that water stress suppresses growth and that growth parameters can be severely limited in the absence of microbial support.

In contrast, rhizobacteria treatments, particularly R3 and R5 doses, significantly increased growth parameters even under low and moderate irrigation conditions. This increase was more pronounced in belowground organs such as root length and root fresh/dry weight. Significant growth was observed, particularly in the I40R5 and I70R5 groups, compared to the control groups.

Under full irrigation conditions (I100), the effect of bacterial treatments was even stronger. The I100R5 group, in particular, achieved the highest values across all parameters, distinguishing it from the other groups in a statistically significant way. This demonstrates that high-dose microbial inoculation can maximize plant growth under adequate water conditions. The similar pattern of results obtained across two years demonstrated that the effects of treatments were consistent, repeatable, and independent of year. The findings suggest that combining irrigation management with microbial inoculation can create a synergistic effect on the growth and development of pickling cucumber.

The application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) under deficit irrigation conditions has shown significant effects on various morphological parameters such as plant height, stem diameter, root length, and both fresh and dry root weights. Previous studies have demonstrated that PGPR can mitigate the adverse impacts of water stress on plant development (Lin et al., 2020; Ahmad et al., 2022; Chieb and Gachomo, 2023). Duan et al. (2021) reported that PGPR applications under drought stress improved shoot weight, stem diameter, root length, and root volume. Similarly, El-Mageed et al. (2022) indicated that PGPR enhances plant growth and physiological responses even under insufficient water conditions. Zapata-Sifuentes et al. (2022) demonstrated that the application of PGPR strains significantly increased root fresh and dry weights in cucumber plants grown under greenhouse conditions. Nawaz et al. (2024) also observed notable improvements in root length and dry weight in maize under limited irrigation through PGPR application. These findings suggest that PGPR treatments support morphological development and positively influence plant growth under water-restricted conditions.

4. CONCLUSION

This study demonstrated that different irrigation levels and the application of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) had significant effects on the morphological development of pickling cucumber plants. It was observed that PGPR doses applied especially under water restriction provided significant increases in parameters such as plant height, stem diameter, root length and root fresh and dry weights. Under full irrigation conditions, high-dose bacterial applications resulted in the highest values across all growth parameters, maximizing the positive impact of bacterial inoculation. The results suggest that PGPR applications, when combined with appropriate irrigation management, can serve as an effective and sustainable strategy to enhance morphological development and reduce yield loss due to water stress in greenhouse-grown pickling cucumber cultivation.

REFERENCES

1. El-Mageed, T. A., Abd El-Mageed, S. A., El-Saadony, M. T., Abdelaziz, S., & Abdou, N. M. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth, morph-physiological responses, water productivity, and yield of rice plants under full and deficit drip irrigation. Rice, 15(1), 16.

2. Ahmad, H. M., Fiaz, S., Hafeez, S., Zahra, S., Shah, A. N., Gul, B., ... & Wang, X. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria eliminate the effect of drought stress in plants: a review. Frontiers in Plant Science, 13, 875774.

3. Alaskar, A. A., & Al-Shwaiman, H. A. (2023). The effect of plant growth-promoting rhizobacteria on soil properties and the physiological and anatomical characteristics of wheat under water-deficit stress conditions. Agriculture, 13(11), 2042.

4. Blanco, F.F. and M.V. Folegatti, 2004. Evaluation of evaporation-measuring equipments for estimating evapotranspiration within a greenhouse. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient., 8: 184–188

5. Chieb, M., & Gachomo, E. W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. BMC plant biology, 23(1), 407.

6. Duan, B., Li, L., Chen, G., Su-Zhou, C., Li, Y., Merkeryan, H., ... & Liu, X. (2021). 1-Aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase-producing plant growth-promoting rhizobacteria improve drought stress tolerance in grapevine (Vitis vinifera L.). Frontiers in Plant Science, 12, 706990.

7. Gontia-Mishra, I.; Sapre, S.; Sharma, A.; Tiwari, S. Amelioration of drought tolerance in wheat by the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria. Plant Biol. 2016, 18, 992–1000.

8. Gouda, S., Kerry, R. G., Das, G., Paramithiotis, S., Shin, H.-S., and Patra, J. K. (2018). Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. Microbiol. Res. 206, 131–140. doi: 10.1016/j.micres.2017.08.016

9. Javed, I., Awan, S., Ahmad, H., and Rao, A. (2016). Assesment of genetic diversity in wheat synthetic double haploids for yield and drought related traits through factor and cluster analyses. Plant Gene Trait 19:7 doi: 10.5376/pgt.2016.07.0003

10. Khan, N., Ali, S., Tariq, H., Latif, S., Yasmin, H., Mehmood, A., & Shahid, M. A. (2020). Water conservation and plant survival strategies of rhizobacteria under drought stress. Agronomy, 10(11), 1683.

11. Lin, Y., Watts, D. B., Kloepper, J. W., Feng, Y., & Torbert, H. A. (2020). Influence of plant growth-promoting rhizobacteria on corn growth under drought stress. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 51(2), 250-264.

12. Meenakshi, Annapurna, K., Govindasamy, V., Ajit, V., and Choudhary, D. K. (2019). Mitigation of drought stress in wheat crop by drought tolerant endophytic bacterial isolates. Vegetos 32, 486–493. doi: 10.1007/s42535-019-00060-1

13. Nawaz, H., Akgün, İ., & Şenyiğit, U. (2024). Effect of deficit irrigation combined with Bacillus simplex on water use efficiency and growth parameters of maize during vegetative stage. BMC Plant Biology, 24(1), 135.

14. Ngumbi, E., and J. W. Kloepper. 2016. Bacterial-mediated drought tolerance: Current and future prospects. Applied Soil Ecology 105:109–25. doi:10.1016/j.apsoil.2016.04.009.

15. Bouremani, N., Cherif-Silini, H., Silini, A., Bouket, A. C., Luptakova, L., Alenezi, F. N., ... & Belbahri, L. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): A rampart against the adverse effects of drought stress. Water, 15(3), 418.

16. TSMS, (2025). Turkish State Meteorological Service, Forecast for cities. https://www.mgm.gov.tr/eng/forecast-cities.aspx (Accessed: November 28, 2025).

17. Wang, C. J., Yang, W., Wang, C., Gu, C., Niu, D. D., Liu, H. X., ... & Guo, J. H. (2012). Induction of drought tolerance in cucumber plants by a consortium of three plant growth-promoting rhizobacterium strains. Plos one, 7(12), e52565.

18. Zapata-Sifuentes, G., Hernandez-Montiel, L. G., Saenz-Mata, J., Fortis-Hernandez, M., Blanco-Contreras, E., Chiquito-Contreras, R. G., & Preciado-Rangel, P. (2022). Plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and fruit quality of cucumber under greenhouse conditions. Plants, 11(12), 1612.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ HAM PROTEİN, HAM YAĞ VE KURU MADDE İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. İsmail ÜLGER

Erciyes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi,

ismailulger@erciyes.edu.tr - 0000-0002-9400-6459

Arş. Gör. Hüseyin Mert YÜKSEL

Erciyes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi,

huseyinmertyuksel@erciyes.edu.tr - 0000-0002-9429-8877

ÖZET

Bu çalışma, yem sanayinde değerlendirilen iki agro-endüstriyel yan ürün olan kabak posası (*Cucurbita pepo L.*) ile çörek otu posasının (*Nigella sativa L.*) temel besinsel bileşim özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada ham protein, ham yağ ve kuru madde içerikleri analiz edilmiş; bağımsız örneklem t-testi sonuçları her üç parametrede de iki posa türü arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur ($P<0,05$). Kabak posası yüksek ham protein içeriği ile rasyonlarda protein takviyesi amacıyla kullanılabilecek potansiyel bir yem kaynağı niteliği taşırken, çörek otu posası daha yüksek ham yağ ve kuru madde düzeyleriyle enerji yoğunluğu yüksek bir yan ürün olarak dikkat çekmektedir. Elde edilen bulgular, her iki posanın da besinsel kompozisyon farklılıkları gözetilerek ruminant ve monogastrik hayvan rasyonlarında tamamlayıcı nitelikte alternatif yem kaynağı olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bu kapsamda çalışma, yağlı tohum posalarının yem formülasyonunda sürdürülebilir ve ekonomik açıdan etkin bir şekilde kullanılmasına yönelik bilimsel veri sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kabak posası, Çörek otu posası, Agro-endüstriyel yan ürünler, Yem besleme, Ham protein, Ham yağ, Kuru madde, Alternatif yem kaynakları.

1.GİRİŞ

İnsan beslenmesinde doğrudan değerlendirilme olanağı bulunmayan tarımsal kaynakların hayvancılıkta etkin şekilde kullanılması, sürdürülebilir hayvansal üretimin geliştirilmesinde temel stratejik unsurlardan biri olarak kabul edilmektedir (Wadhwa ve Bakshi, 2013). Yem kaynaklarının miktar ve kalite bakımından yetersizliği ile üretim maliyetlerinin yaklaşık %70–80'lik kısmını besleme ve yem giderlerinin oluşturması, yem endüstrisi ve hayvan besleme alanında çalışan araştırıcıları yeni ve alternatif yem kaynaklarının kullanımına yöneltmiştir (Vasta ve ark., 2008). Özellikle yoğun üretim sistemlerinde artan yem talebi, bir yandan geleneksel yem ham maddelerine olan bağımlılığı artırırken, diğer yandan yem maliyetlerini yükselterek işletme kârlılığını ve sürdürülebilirliği olumsuz etkilemektedir. Bu durum, hem ruminant hem de monogastrik hayvanların rasyonlarında konvansiyonel yemlerin kısmen ikame edilebileceği, besleyici değeri kabul edilebilir düzeyde olan alternatif yem kaynaklarının araştırılmasını zorunlu kılmaktadır (Vasta ve ark., 2008; Özdüven ve ark., 2005).

Nitekim geçmiş yıllarda hayvan yemi olarak değerlendirilmesi sınırlı olan veya çoğunlukla atık olarak kabul edilen bazı tarımsal sanayi yan ürünlerinin (örneğin bira posası, üzüm posası, anason posası gibi materyallerin) son yıllarda rasyon formülasyonlarında daha yaygın biçimde kullanıldığı bildirilmektedir (Koc ve ark., 2023). Bu yan ürünler, uygun işleme ve depolama koşullarının sağlanması durumunda, içeriklerinde yer alan ham protein, ham yağ, sindirilebilir lif fraksiyonları ve bazı biyoaktif bileşenler sayesinde hem ekonomik hem de besleyici açıdan önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ülkemizde de söz konusu yan ürünlerin bir bölümü hayvan beslemede değerlendirilmekle birlikte, yem değeri henüz ayrıntılı olarak ortaya konmamış veya pratikte yem olarak kullanılmayan çok sayıda tarımsal sanayi yan ürününün bulunduğu, bunların toplam miktarının ise göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğu bildirilmektedir (Özdüven ve ark., 2005). Bu bağlamda, tarımsal sanayi yan ürünlerinin besin madde kompozisyonlarının ve hayvan beslemedeki potansiyel kullanım imkanlarının ortaya konması, hem yem maliyetlerinin azaltılması hem de kaynakların daha etkin ve sürdürülebilir biçimde değerlendirilmesi açısından stratejik bir önem taşımaktadır.

Bitkisel artıklar; vitaminler, doymamış yağ asitleri ve çeşitli fitokimyasallar gibi biyolojik açıdan aktif bileşikler içermekte olup (Salami ve ark., 2019), hayvanların sağlık durumu ve verimliliği üzerinde olumlu etkiler yaratabilmektedir. Bu bitkisel artıklar arasında yer alan kabak, içerik zenginliği ve çeşitli bitki kısımlarının farklı besinsel özellikler göstermesi nedeniyle dikkat çeken bir alternatif yem kaynağıdır. Kabağın besin madde bileşimi, türüne ve bitkinin hangi kısmının kullanıldığına bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik göstermektedir (Kim ve ark., 2012). Genel olarak meyve kısmının vitaminler, yağ asitleri ve fitokimyasallar bakımından zengin olduğu ve bu özellikleriyle hayvan beslemede potansiyel bir katkı materyali olarak değerlendirilebileceği bildirilmektedir (Wadhwa ve Bakshi, 2013). Nitekim kabak meyvesi karbonhidrat, vitamin, mineral, fenolik bileşikler ve flavonoller açısından zengin bir içerik sunarken; çekirdekleri yüksek düzeyde protein ve yağ asitleri içermektedir (Kim ve ark., 2012; Perez Gutiérrez, 2016; Kulczyński ve Gramza-Michałowska, 2019).

Hayvan besleme açısından bakıldığında, kabağın içerdiği biyolojik olarak aktif bileşenlerin antioksidan kapasiteyi artırdığı, immun yanıtı desteklediği ve bazı çalışmalarda sindirim sağlığını iyileştirerek yemden yararlanmayı olumlu etkilediği bildirilmektedir (Valdez-Arjona ve Ramírez-Mella, 2019). Özellikle kabak çekirdeğinin yüksek kaliteli yağ asitleri ve protein içeriği, ruminant ve monogastrik hayvanlarda enerji ve esansiyel besin maddesi kaynağı olarak işlev görebilmektedir.

Çörek otu (Nigella sativa L.), Asya kökenli tek yıllık bir bitki olup, iki bin yılı aşkın süredir Orta Doğu ve Uzak Doğu'da tıbbi amaçlarla kullanılmaktadır (Özçelik ve Bayram, 2012). Tohumları %35–40 yağ, uçucu yağ fraksiyonları, saponin, tanen, nigelon ve timokinon gibi farmakolojik açıdan önemli

bileşenler içermekte; ayrıca esansiyel yağ asitleri de dahil olmak üzere 100'den fazla aktif kimyasal bileşen barındırmaktadır (Ramadan ve Mörsel, 2002; Özçelik ve Bayram, 2012). Karminatif özellik göstermeleri nedeniyle sindirim üzerinde olumlu etkileri bulunan çörek otu tohumları ve bunlardan elde edilen yağlar üzerine yapılan çalışmalar; antidiyabetik (Bamosa ve ark., 2010), antikanser (Bourgou ve ark., 2012), kardiyovasküler koruyucu (Bamosa ve ark., 2002), gastroprotektif (Abdel-Sater, 2009), antiastmatik (Kanter, 2009) ve nörolojik (Perveen ve ark., 2008) etkiler dâhil geniş bir biyolojik aktivite yelpazesi ortaya koymuştur. Ayrıca çörek otu yağının antioksidan kapasitesi değerlendirilmiş olup, bu etkinin çalışmalara göre değişkenlik gösterebildiği bildirilmiştir (Alenzi ve ark., 2013). Tohum ve yağ ekstraktları gram pozitif/negatif bakterilere (Morsi, 2000), koksidilere (Rahman ve Nada, 2006; Baghdadi ve Al-Mathal, 2011) ve helmintlere (Maqbool ve ark., 2004) karşı antimikrobiyal aktivite sergilemektedir.

Bu zengin kimyasal ve biyolojik profile bağlı olarak, yağ ekstraksiyonu sonrası elde edilen çörek otu posası da hayvan besleme açısından dikkat çekici bir yan ürün niteliği taşımaktadır. Posanın hâlen önemli düzeyde protein, lif, esansiyel yağ asidi kalıntıları ve biyoaktif bileşenler içermesi, ruminant ve monogastrik hayvan rasyonlarında ekonomik ve fonksiyonel bir alternatif yem kaynağı olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Dolayısıyla çörek otu posası, hem yem maliyetlerinin azaltılmasına hem de hayvan sağlığı ve performansının desteklenmesine katkı sağlayabilecek sürdürülebilir bir yem materyali olarak öne çıkmaktadır.

Posaların besin kompozisyonlarındaki değişkenlik; yetiştirme koşulları, tür farklılıkları, yağ çıkarma teknikleri ve işleme sonrası kurutma–nem düzeyleri gibi faktörlerden etkilenmektedir (Mirzaei-Aghsaghali ve Maheri-Sis, 2008; Azevêdo ve ark., 2012; Ünlü ve ark., 2022). Bu nedenle, yem rasyonlarında kullanılmadan önce bu yan ürünlerin kimyasal bileşiminin ayrıntılı biçimde ortaya konulması gereklidir. Özellikle kuru madde (KM), ham protein (HP), ham yağ (HY), Asit Deterjan Lif (ADF) ve Nötral Deterjan Lif (NDF) gibi parametreler, agro-endüstriyel yan ürünlerin besleme değerinin rutin değerlendirilmesinde temel göstergeler olarak kullanılmaktadır (Ünlü ve ark., 2022). Lif fraksiyonları olan ADF ve NDF düzeyleri ise sindirilebilirlik ve enerji değeri üzerinde belirleyici olup, özellikle ruminant rasyonlarının formülasyonunda kritik öneme sahiptir (Van Soest ve ark., 1991; Oba ve Allen, 1999).

Bu çalışma, yem sanayinde yaygın olarak değerlendirilen iki farklı bitkisel posa türünün besinsel kompozisyonlarını karşılaştırmalı olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada kabak posası ile çörek otu posası karşılaştırılmış ve söz konusu yan ürünlerin temel kimyasal analiz sonuçları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda söz konusu posaların HP, HY, KM içerikleri belirlenmiş ve aralarındaki farklılıkların istatistiksel açıdan anlamlılığı bağımsız örneklem t-testi ile incelenmiştir. Araştırmadan elde edilen bulguların, yağlı tohum posalarının hayvansal üretimde daha etkin kullanımına yönelik bilimsel veri sunacağı ve sürdürülebilir yem kaynaklarının geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu araştırmada yem sanayinde yaygın olarak değerlendirilen iki farklı yağlı tohum bitkisine ait bitkisel yan ürünlerin, kabak posası (Cucurbita pepo L.) ve çörek otu posasının (Nigella sativa L.) besinsel

bileşim özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan posa numuneleri yerel yağ işleme tesislerinden temin edilmiş olup laboratuvara ulaştırıldıktan sonra yabancı materyallerden tamamen arındırılmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere her bir numune, 1 mm elek çapına sahip laboratuvar tipi değirmende öğütülerek homojenize edilmiştir. Elde edilen homojen numuneler tüm kimyasal analiz süreçlerinde kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Kuru Madde Tayini (KM, %)

Örneklerin kuru madde içerikleri etüvde kurutma yöntemi ile belirlenmiştir. Temiz porselen krozeler ön tartım sonrası 105 °C'de üç saat etüvde bekletilerek sabit ağırlığa getirilmiş ve desikatörde oda sıcaklığında soğutulduktan sonra tekrar tartılmıştır. Krozeler içerisine 1,000–1,500 g arasında homojenize edilmiş numune ilave edilerek tartım kaydedilmiştir. Numuneler 70 °C'de 24 saat süreyle kurutulmuş, soğutulduktan sonra yeniden tartılarak ilk ve son tartımlar arasındaki fark esas alınarak KM değerleri hesaplanmıştır (Sayar ve ark., 2018).

Ham Protein Tayini (HP, %)

Ham protein analizleri Dumas yanma metodu kullanılarak AACCI Metot 46-30 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde Velp NDA-701 model otomatik azot tayin cihazı kullanılmıştır. Belirlenen toplam azot miktarları 6.25 dönüşüm katsayısı ile çarpılarak ham protein yüzdeleri elde edilmiştir.

Ham Yağ Tayini (HY, %)

Ham yağ içerikleri petrol eteri ekstraksiyonu esasına göre ANKOM XT15 yağ ekstraksiyon cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Filtre torbalarının daraları alındıktan sonra içine 1.5 g numune konulmuş ve torbalar 105 °C'de üç saat etüvde kurutulmuştur. Desikatörde soğutulup tartılan torbalar cihaza yerleştirilmiş ve uygun sıcaklık–süre ayarları yapılarak ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. İşlem sonrasında torbalar tekrar etüvde (105 °C, 15–30 dk) kurutulmuş, soğutulmuş ve tartılmıştır. Ham yağ miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$HY (\%) = (W2-W3)/W1 \times 100$$

W1: Numune Ağırlığı

W2: Ekstraksiyondan önce kurutma sonrası numune + torba ağırlığı

W3: Ekstraksiyondan sonra kurutma sonrası numune + torba ağırlığı

3. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Kabak posası ve çörek otu posasının ham yağ, ham protein, kuru madde içerikleri arasındaki farklılıklar, bağımsız örneklem t-testi (Independent Samples T-test) ile analiz edilmiştir. Analiz öncesi normallik varsayımı Shapiro–Wilk testi ile değerlendirilmiş ve tüm değişkenlerin normal dağılım gösterdiği saptanmıştır (P>0,05). Varyans homojenliği Levene testi kullanılarak incelenmiş ve tüm parametrelerde varyansların homojen olduğu belirlenmiştir (P>0,05). İstatistiksel analizler SPSS 25.0 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş, anlamlılık düzeyi P<0,05 olarak kabul edilmiştir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada kabak posası (Cucurbita pepo L.) ile çörek otu posasının (Nigella sativa L.) temel besin madde bileşenleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; kabak posasının ham protein, ham yağ ve kuru madde içerikleri bakımından çörek otu posasına kıyasla istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir (P<0,001). Özellikle kabak posasında saptanan yüksek ham protein düzeyi (%42,10), bu yan ürünün rasyon formülasyonlarında protein yönünden zengin tamamlayıcı bir yem kaynağı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Literatürde Cucurbita pepo'ya ait kabak atığı veya rezidüsünün genellikle düşük kuru madde içeriğine (%5–14) sahip olduğu ve bu nedenle silaj kalitesinin artırılması amacıyla saman, yonca veya benzeri kuru materyallerle desteklenmesinin gerekli olduğu bildirilmektedir (Ülger ve ark., 2020). Mevcut çalışmada kabak posasının oldukça yüksek kuru madde içeriğine (%94,42) sahip olması, kullanılan materyalin taze kabak atıklarından farklı olarak yağ ekstraksiyonu sonrası elde edilen ve kurutulmuş posa formunda olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, besin maddelerinin kuru madde bazında yoğunlaşmasına yol açarak özellikle ham protein düzeyinin literatürde bildirilen kabak atığı değerlerinden belirgin şekilde daha yüksek bulunmasını açıklamaktadır (Łozicki ve ark., 2015).

Ham yağ içeriği bakımından da kabak posasının, kabak atığı silajları için bildirilen düşük ether extract değerlerinden (%2–10) önemli ölçüde ayrıştığı görülmektedir (Halik ve ark., 2014; Ülger ve ark., 2020). Bu bulgu, çalışmada kullanılan kabak posasının daha enerji yoğun bir besin profiline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ruminant rasyonlarında yüksek düzeyde ham yağ içeriğinin rumen mikroorganizma aktivitesi ve lif sindirimi üzerinde baskılayıcı etkilere neden olabileceği bilinmektedir. Dolayısıyla kabak posasının rasyona dâhil edilmesinde hayvan türü, fizyolojik dönem ve toplam rasyon yağ düzeyi dikkate alınarak kontrollü kullanım stratejilerinin benimsenmesi gerekmektedir.

Çörek otu posası açısından değerlendirildiğinde, bu yan ürünün ham protein, ham yağ ve kuru madde içeriklerinin kabak posasından istatistiksel olarak anlamlı düzeyde farklılık gösterdiği belirlenmiştir (P<0,05). Çörek otu posasında daha düşük ham protein, buna karşılık daha yüksek ham yağ ve kuru madde düzeylerinin saptanması, bu materyalin rasyonlarda öncelikli olarak enerji yoğun bir yem hammaddesi olarak değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Nitekim literatürde çörek otu tohumu ve yan ürünlerinin, yüksek yağ içeriği ve biyoaktif bileşenleri nedeniyle klasik protein kaynaklarından farklı bir besinsel profil sunduğu ve daha çok fonksiyonel ve enerji sağlayıcı özellikleriyle ön plana çıktığı bildirilmektedir (Al-Homidan ve ark., 2002; Güler ve Ertaş, 2006).

Çörek otu posasının yüksek kuru madde içeriği, depolama stabilitesi ve mikrobiyal bozulmaya karşı dayanıklılık açısından önemli bir avantaj sağlayarak yem sanayinde kullanım potansiyelini artırmaktadır (Abdel-Hady ve ark., 2009). Bununla birlikte, ruminant beslemede yüksek ham yağ içeriğinin olası olumsuz etkileri göz önünde bulundurularak, çörek otu posasının da rasyonlara sınırlı ve dengeli düzeylerde dâhil edilmesi gerekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışmada incelenen kabak posası; yüksek kuru madde ve özellikle yüksek ham protein içeriği ile protein ağırlıklı bir tamamlayıcı yem kaynağı olarak öne çıkarken, çörek otu posası yüksek ham yağ ve kuru madde düzeyleri sayesinde enerji yoğun bir alternatif yem hammaddesi niteliği taşımaktadır. Bu bulgular, her iki yan ürünün de besin madde kompozisyonlarındaki farklılıklar dikkate alınarak, uygun kullanım düzeyleri ve hedef hayvan gruplarına göre ruminant rasyonlarında tamamlayıcı ve alternatif yem kaynakları olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında kabak posası ile çörek otu posasının temel besinsel bileşim parametreleri olan ham yağ, ham protein ve kuru madde içerikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş; her iki yan ürünün kimyasal özellikleri arasındaki farklılıklar istatistiksel açıdan değerlendirilmiştir. Yapılan bağımsız örneklem t-testi sonuçları, incelenen tüm parametreler bakımından iki grup arasında anlamlı düzeyde farklılıklar bulunduğunu göstermiştir ($P<0,05$). Bu durum, kabak posası ve çörek otu posasının besinsel profillerinin birbirinden belirgin şekilde ayrıştığını ve her bir posanın rasyon formülasyonunda farklı besleme amaçlarına hizmet edebilecek kompozisyon özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle ham protein, ham yağ ve kuru madde gibi yem değerinin temel belirleyicileri olan bileşenlerde görülen bu anlamlı varyasyonlar, söz konusu yan ürünlerin kullanım düzeylerinin ve hedef hayvan gruplarının dikkatle belirlenmesi gerektiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır. Bu sonuçlar, kabak posası ile çörek otu posasının yem sanayinde alternatif kaynaklar olarak değerlendirilmesinin, ancak besinsel kompozisyon farklılıklarının göz önünde bulundurulmasıyla mümkün olacağını vurgulamaktadır.

Çizelge 1. Kabak Posası ve Çörek Otu Posası Ham protein, Ham Yağ ve Kuru madde analiz sonuçları

	Ham Protein	**Ham Yağ**	**Kuru Madde**
Kabak Posası	$42,10 \pm 0,54^{a}$	$24,15 \pm 0,19^{b}$	$94,42 \pm 0,08^{b}$
Çörek Otu Posası	$26,70 \pm 0,12^{b}$	$27,52 \pm 0,36^{a}$	$95,53 \pm 0,03^{a}$
Sig.	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre, kabak posasının ham protein içeriği %42,10 ± 0,54 iken, çörek otu posasında bu değer %26,70 ± 0,12 olarak tespit edilmiş ve gruplar arasındaki farkın oldukça yüksek düzeyde anlamlı olduğu gösterilmiştir ($P<0,001$). Bu bulgu, kabak posasının özellikle protein yönünden zengin bir yem katkısı olarak rasyon formülasyonunda değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.

Ham yağ içeriği açısından ise durum tersine dönmekte; çörek otu posası %27,52 ± 0,36 ile kabak posasından (%24,15 ± 0,19) anlamlı derecede daha yüksek ham yağ içeriği sergilemektedir (P<0,001). Bu sonuç, çörek otu posasının enerji yoğunluğu daha yüksek bir yan ürün olarak özellikle yüksek enerji gereksinimi olan hayvan kategorilerinde (örneğin yüksek verimli süt inekleri veya büyüme dönemindeki besi hayvanları) sınırlı düzeylerde rasyona dahil edilmesi için uygun bir aday olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, ruminant rasyonlarında aşırı ham yağ düzeylerinin rumen fermantasyonu üzerine olumsuz etkileri dikkate alınarak çörek otu posasının kullanım düzeyinin dikkatle sınırlandırılması gerektiği söylenebilir.

Kuru madde içerikleri incelendiğinde, çörek otu posasının %95,53 ± 0,03 ile kabak posasına (%94,42 ± 0,08) kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek kuru madde düzeyine sahip olduğu belirlenmiştir (P<0,001). Daha yüksek kuru madde içeriği, özellikle depolama ve stabilite açısından çörek otu posasına belirli bir avantaj sağlayarak, bozulma riskinin ve taşıma maliyetlerinin azaltılması yönünde katkı sunabilir. Kabak posasının nispeten daha düşük kuru madde düzeyi ise, rasyonun toplam kuru madde yoğunluğunu bir miktar sınırlasa da, yüksek ham protein içeriği sayesinde besleme açısından önemli bir dezavantaj oluşturmamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bulunan bu farklılıklar, kabak posası ve çörek otu posasının rasyon formülasyonunda birbirini tamamlayıcı nitelikte yan ürünler olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Kabak posası, özellikle protein takviyesi amacıyla, çörek otu posası ise kontrollü düzeylerde enerji ve yağ kaynağı olarak rasyonlara dahil edilebilir. Bu nedenle, her iki yan ürünün de uygun kullanım düzeyleri ve hedef hayvan grupları dikkate alınarak yem sanayinde değerlendirilmesi, hem besleme etkinliği hem de ekonomik ve sürdürülebilir üretim açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Abdel-Hady, A. A., Abdel-Azeem, F. A., Abdel-Rafea, A. A., & Gamal, A. G. (2009). Effect of replacement of soybean meal protein by Nigella sativa meal protein on performance of growing Japanese quial.

Abdel-Sater, K. A. (2009). Gastroprotective effects of Nigella Sativa oil on the formation of stress gastritis in hypothyroidal rats. International journal of physiology, pathophysiology and pharmacology, 1(2), 143.

Alenzi, F. Q., Altamimi, M. A., Kujan, O., Tarakji, B., Tamimi, W., Bagader, O., ... & Wyse, R. K. H. (2013). Antioxidant properties of Nigella sativa. J Mol Genet Med, 7(3), 1-5.

Al-Homidan, A., Al-Qarawi, A. A., Al-Waily, S. A., & Adam, S. E. I. (2002). Response of broiler chicks to dietary Rhazya stricta and Nigella sativa. British poultry science, 43(2), 291-296.

Azevêdo, J. A. G., Valadares Filho, S. C., Pina, D. S., Detmann, E., Pereira, L. G. R., Valadares, R. F. D., ... & Benedeti, P. B. (2012). Nutritional diversity of agricultural and agro-industrial by-products for ruminant feeding. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 64, 1246-1255.

Baghdadi, H. B., & Al-Mathal, E. M. (2011). Anti-coccidial activity of Nigella sativa L.

Bamosa, A. O., Kaatabi, H., Lebdaa, F. M., Elq, A. M., & Al-Sultanb, A. (2010). Effect of Nigella sativa seeds on the glycemic control of patients with type 2 diabetes mellitus. Indian J Physiol Pharmacol, 54(4), 344-54.

Bamosa, A., Ali, B. A., & Al-Hawsawi, Z. A. (2002). The effect of thymoquinone on blood lipids in rats. Indian journal of physiology and pharmacology, 46(2), 195-201.

Bourgou, S., Pichette, A., Marzouk, B., & Legault, J. (2012). Antioxidant, anti-inflammatory, anticancer and antibacterial activities of extracts from Nigella sativa (black cumin) plant parts. Journal of Food Biochemistry, 36(5), 539-546.

Guler, T., & Ertas, O. N. (2006). The effect of dietary black cumin seeds (Nigella sativa L.) on the performance of broilers. Asian-australasian journal of animal sciences, 19(3), 425-430.

Halik, G. D., Lozicki, A., Koziorzebska, A., Dymnicka, M. A. R. I. A., & Arkuszewska, E. (2014). Effect of ensiling pumpkin Cucurbita maxima with the addition of inoculant or without it on chemical composition and quality of silages. Annals of Warsaw University of Life Sciences-SGGW. Animal Science, (53).

Kanter, M. (2009). Effects of Nigella sativa seed extract on ameliorating lung tissue damage in rats after experimental pulmonary aspirations. Acta histochemica, 111(5), 393-403.

Kim, M. Y., Kim, E. J., Kim, Y. N., Choi, C., & Lee, B. H. (2012). Comparison of the chemical compositions and nutritive values of various pumpkin (Cucurbitaceae) species and parts. Nutrition research and practice, 6(1), 21-27.

Koc, F., Erten, K., & Coskuntuna, L. (2023). Aronya posasının hayvan beslemede kullanım olanakları. Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 11(1), 267-278.

Kulczyński, B., & Gramza-Michałowska, A. (2019). The profile of secondary metabolites and other bioactive compounds in Cucurbita pepo L. and Cucurbita moschata pumpkin cultivars. Molecules, 24(16), 2945.

Łozicki, A., Koziorzębska, A., Halik, G., Dymnicka, M., Arkuszewska, E., Niemiec, T., & Bogdan, J. (2015). Effect of ensiling pumpkin (Cucurbita maxima D.) with dried sugar beet pulp on the content of bioactive compounds in silage and its antioxidant potential. Animal Feed Science and Technology, 206, 108-113.

Maqbool, A., Hayat, C. S., & Tanveer, A. (2004). Comparative efficacy of various indigenous and allopathic drugs against fasciolosis in buffaloes. Veterinarski arhiv, 74(2), 107-114.

Mirzaei-Aghsaghali, A., & Maheri-Sis, N. (2008). Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants-A review. World J. Zool, 3(2), 40-46.

Morsi, N. M. (2000). Antimicrobial effect of crude extracts of Nigella sativa on multiple antibiotics-resistant bacteria. Acta Microbiologica Polonica, 49(1), 63-74.

Oba, M., & Allen, M. S. (1999). Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. Journal of dairy science, 82(3), 589-596.

Özçelik, U., & Bayram, İ. Çörek Otunun (Nigella Sativa) Kuzularda, Besi Performansı ve Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkisi. Kocatepe Veterinary Journal, 5(2), 27-33.

Özdüven, M. L., Coşkuntuna, L., & Koç, F. (2005). ÜZÜM POSASI SİLAJININ FERMANTASYON VE YEM DEĞERİ ÖZELLİKLERİNİN SAPTANMASI. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(1), 45-50.

Perez Gutierrez, R. M. (2016). Review of Cucurbita pepo (pumpkin) its phytochemistry and pharmacology. Med chem, 6(1), 12-21.

Perveen, T., Abdullah, A., Haider, S., Sonia, B., Munawar, A. S., & Haleem, D. J. (2008). Long-term administration of Nigella sativa effects nociceotion and improves learning and memory in rats. Pak J Biochem Mol Biol, 41(3), 141-143.

Rahman, M. A. M. A., & Nada, A. A. (2006). Effect of black seed oil on rabbits infected with some intestinal Eimeria species.

Ramadan, M. F., & Mörsel, J. T. (2002). Characterization of phospholipid composition of black cumin (Nigella sativa L.) seed oil. Food/Nahrung, 46(4), 240-244.

Salami, S. A., Luciano, G., O'Grady, M. N., Biondi, L., Newbold, C. J., Kerry, J. P., & Priolo, A. (2019). Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. Animal Feed Science and Technology, 251, 37-55.

Sayar, M. S., Başbağ, M., & Çaçan, E. (2018). Bazı buğdaygil bitki türlerinin yem kalite değerlerinin belirlenmesi ve biplot analiz yöntemi ile özelliklerarası ilişkilerin değerlendirilmesi. Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 27(2), 92-101.

Ülger, İ., Kaliber, M., Beyzi, S. B., & Konca, Y. (2020). Possible ensiling of pumpkin (Cucurbita pepo) residues. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 44(4), 853-859.

Ünlü, H. B., Kirkpinar, F., & Ozdogan, M. (2022). Nutritional evaluation of the agro-industrial by-products and waste fruits-vegetable for sustainable ruminant nutrition. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 73(1), 3657-3666.

Valdez-Arjona, L. P., & Ramírez-Mella, M. (2019). Pumpkin waste as livestock feed: Impact on nutrition and animal health and on quality of meat, milk, and egg. Animals, 9(10), 769.

Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of dairy science, 74(10), 3583-3597.

Vasta, V., Nudda, A., Cannas, A., Lanza, M., & Priolo, A. (2008). Alternative feed resources and their effects on the quality of meat and milk from small ruminants. Animal Feed Science and Technology, 147(1-3), 223-246.

Wadhwa, M., & Bakshi, M. P. S. (2013). Utilization of fruit and vegetable wastes as livestock feed and as substrates for generation of other value-added products. RAP publication, 4(2013), 67.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KABAK POSASI İLE ÇÖREK OTU POSASININ ADF-NDF İÇERİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMALI DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. İsmail ÜLGER
Erciyes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi,
ismailulger@erciyes.edu.tr - 0000-0002-9400-6459

Arş. Gör. Hüseyin Mert YÜKSEL
Erciyes Üniversitesi / Ziraat Fakültesi,
huseyinmertyuksel@erciyes.edu.tr - 0000-0002-9429-8877

ÖZET

Bu çalışma, agro-endüstriyel yan ürünlerden kabak posası (Cucurbita pepo L.) ile çörek otu posasının (Nigella sativa L.) hayvan beslemede kullanılabilirliklerini belirlemek amacıyla ADF ve NDF içeriklerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Analizler, her iki lif fraksiyonunda da posa türleri arasında istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur (P<0,001). Kabak posası, çörek otu posasına kıyasla daha yüksek ADF (%41,56) ve NDF (%43,88) değerleri sergileyerek daha yoğun bir yapısal karbonhidrat profiline sahip olduğunu göstermiştir. Buna karşılık çörek otu posası, daha düşük lif düzeyleri ile rasyonlarda farklı işlevsel amaçlara hizmet edebilecek alternatif bir kaynak niteliği taşımaktadır. Elde edilen bulgular, posaların kimyasal kompozisyon farklılıklarının rasyon planlamasında dikkate alınması gerektiğini ve her iki yan ürünün de uygun kullanım düzeyleri belirlendiğinde sürdürülebilir yem formülasyonlarında değerli bileşenler olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kabak posası, Çörek otu posası, ADF, NDF, Agro-endüstriyel yan ürünler, Lif fraksiyonları, Ruminant besleme.

1. GİRİŞ

Küresel nüfustaki artış, hayvansal ürünlere olan talebi sürekli yükseltmekte ve et ile süt üretiminin bu doğrultuda genişlemeye devam edeceği öngörülmektedir (FAO, 2021). Bu talebi karşılayabilmek için hayvancılıkta yem arzının mevcut 6,0 milyar ton KM seviyesinden 2030 yılında 7,3 milyar ton KM'ye çıkması gerektiği bildirilmektedir (Kim ve ark., 2019). Özellikle monogastrik türlerde, yem maliyetlerinin toplam üretim harcamalarının %70'inden fazlasını oluşturması, sektörde ekonomik baskıyı artırmaktadır (Borkar ve ark., 2021). Soya fasulyesi ve mısır gibi konvansiyonel yem hammaddelerine bağımlılığın ise uzun vadede hem ekonomik hem de çevresel açıdan sürdürülebilir olmadığı vurgulanmaktadır (Akinmoladun ve ark., 2018). Bu nedenle, besin değerini korurken yem maliyetlerini azaltabilecek alternatif yem kaynaklarının kullanımı, kârlı hayvansal üretim için kritik bir strateji hâline gelmiştir (Alhotan, 2021). Son yıllarda bu kapsamda meyve-sebze posaları ve agro-endüstriyel atıkların rasyonlarda potansiyel ikame materyali olarak değerlendirilmesine yönelik çalışmalar artış göstermektedir (Mako ve Ikusika, 2020).

Tarımsal endüstri artıklarının etkin şekilde yeniden değerlendirilmesine yönelik sosyal ve çevresel baskılar artmıştır (Pfaltzgraff ve ark., 2013; Santana-Méridas ve ark., 2012). Gıda üretiminin küresel ölçekte yoğunlaşması, büyük miktarda yan ürün ve gıda atığının oluşmasına neden olmuştur (Waldron, 2007). Agro-endüstriyel yan ürünlerin çiftlik hayvanlarının beslenmesinde kullanılması, gıda endüstrisinin çevresel etkisini azaltmakta, aynı zamanda bu yan ürünlerin değer kazanmasını ve tarımsal üretimin kârlılığının artmasını sağlamaktadır. Gıda artıklarının hayvanlara yedirilmesi, düşük kaliteli materyallerin yüksek kaliteli hayvansal ürünlere dönüştürülmesi açısından oldukça verimli bir yöntemdir (Elferink ve ark., 2008).

Konvansiyonel olmayan yem hammaddelerinin hayvan beslemede kullanımını etkileyen üç temel unsur; hayvan kaynaklı faktörler ve anti-besinsel maddelerin varlığı, üretim lojistiği ve gıda işleme endüstrisinden yem sanayisine ve çiftçiye kadar uzanan ekonomik boyuttur (Williams ve Agri, 2014). Meyve ve sebze işleme yan ürünleri; karotenoidler, fenolik bileşikler, flavonoidler, antioksidanlar, antimikrobiyaller, vitaminler ve diyet kaynaklı yağlar gibi değerli biyolojik bileşenleri içermeleri nedeniyle oldukça umut vadeden hammaddelerdir (Schieber ve Carle, 2001; Fernández-López ve ark., 2008). Bununla birlikte, bu tür artıkların hayvan yemlerinde en uygun şekilde işlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi için mevsimsel bulunabilirliklerinin ve besin değerlerinin doğru biçimde belirlenmesi gerekmektedir. Nitekim yan ürünler, uygun işlem görmeleri koşuluyla ruminantlar için mükemmel bir besin kaynağı olabilir ve hayvansal üretim maliyetlerinin düşürülmesine önemli katkı sağlayabilir (Wadhwa ve ark., 2006).

Bu çerçevede, özellikle farklı endüstriyel süreçlerden elde edilen posa kökenli yan ürünler, hem ekonomik erişilebilirlikleri hem de lif fraksiyonları ve biyoaktif bileşenler açısından zengin yapıları nedeniyle söz konusu gereksinimleri karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Posaların ADF ve NDF gibi yapısal karbonhidrat fraksiyonları, ruminant beslemede sindirilebilirlik, enerji değeri ve rumen fonksiyonları üzerine doğrudan etki ettiğinden, bu materyallerin yem olarak değerlendirilmeden önce kimyasal kompozisyonlarının ayrıntılı şekilde analiz edilmesi önem taşımaktadır. Bu bildiride, söz konusu yaklaşım doğrultusunda kabak posası ve çörek otu posasının hayvan beslemede kullanılabilirliğini belirlemek amacıyla ADF ve NDF içerikleri, karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bu iki yan ürünün hayvan beslemesi açısından potansiyel yem

kaynağı olarak değerlendirilebilmesi için gerekli olan temel kimyasal özelliklerin ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu araştırmada, yem sanayinde yaygın olarak değerlendirilen iki farklı yağlı tohum bitkisinin bitkisel yan ürünleri olan kabak posası (Cucurbita pepo L.) ve çörek otu posasının (Nigella sativa L.) ADF ve NDF içerikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmada kullanılan posa örnekleri, bölgedeki yerel yağ işleme tesislerinden temin edilmiş olup laboratuvara ulaştırılmalarının ardından yabancı materyal ve safsızlıklardan titizlikle arındırılmıştır. Analizlerde kullanılmak üzere her bir örnek, 1 mm elek çapına sahip laboratuvar tipi değirmende öğütülerek homojenize edilmiştir. Hazırlanan bu homojen numuneler, tüm kimyasal analiz aşamalarında standart prosedürlere uygun şekilde kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Kabak ve çörek otu posalarına ait Asit Deterjan Fiber (ADF) ve Nötral Deterjan Fiber (NDF) analizleri, Van Soest ve ark. tarafından tanımlanan deterjan çözeltisi yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Analizler için homojenize edilmiş numunelerden belirli miktarda örnek alınmış ve ANKOM Fiber Analyzer cihazı kullanılarak standart prosedürlere uygun şekilde işleme tabi tutulmuştur.

Asit Deterjanda Çözünmeyen Lif (ADF, %)

ADF analizleri için Asit Deterjan Fiber (ADF) solüsyonu hazırlanmış ve analizler ANKOM 200 Fiber Analyzer cihazında gerçekleştirilmiştir. Filtre torbalarının boş ağırlıkları alındıktan sonra 1 mm elek çapında öğütülmüş numunelerden yaklaşık 0.5 g tartılarak torbalara doldurulmuş ve tekrar tartılmıştır. Torbalar cihaza yerleştirilerek hazırlanan solüsyon ilave edilmiş ve 100 °C'de 60 dakika kaynatma uygulanmıştır. İşlem sonrasında torbalar sırasıyla iki kez sıcak, bir kez soğuk su ile 5'er dakika durulanmış, 3 dakika asetonda bekletilmiş, ardından etüvde 105 °C'de 2–4 saat kurutulmuştur. Numuneler desikatörde oda sıcaklığına getirildikten sonra tartılmış ve ADF değerleri Van Soest (1963) metoduna göre hesaplanmıştır.

Nötr Deterjanda Çözünmeyen Lif (NDF, %)

NDF analizi için Nötral Deterjan Fiber (NDF) solüsyonu hazırlanmış ve aynı şekilde ANKOM 200 Fiber Analyzer cihazı kullanılmıştır. Filtre torbalarına yaklaşık 0.5 g numune yerleştirilmiş ve tartım sonrasında cihaza yüklenmiştir. Solüsyon eklenerek 100 °C'de 60 dakika kaynatılmış, ardından numuneler iki kez sıcak, bir kez soğuk su ile durulanmış ve 3 dakika asetonda tutulmuştur. Kurutma işlemi 105 °C'de 2–4 saat gerçekleştirilmiştir. Tartım sonrası NDF analiz sonuçları Van Soest ve Wine (1967) yöntemine göre hesaplanmıştır.

Analiz süreçlerinin tamamı, laboratuvarın standart kalite kontrol prosedürlerine uygun şekilde yürütülmüş ve her bir numune için analizler üç tekerrürlü olarak yapılmıştır. Elde edilen veriler istatistiksel değerlendirme için kaydedilerek karşılaştırmalı analizlerde kullanılmıştır.

3. İSTATİSTİKSEL YÖNTEM

Kabak posası ile çörek otu posasının ADF ve NDF içerikleri arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla bağımsız örneklem t-testi (Independent Samples T-test) uygulanmıştır. Analizlere başlamadan önce, parametrik test varsayımlarının sağlanıp sağlanmadığını belirlemek amacıyla dağılım özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, her iki posa türüne ait ADF ve NDF verilerinin normal dağılıma uygunluğu Shapiro–Wilk normallik testi ile değerlendirilmiş; tüm değişkenlerin istatistiksel olarak anlamlı bir sapma göstermeden normal dağılım sergilediği tespit edilmiştir (P>0,05).

Testin ikinci varsayımı olan varyans homojenliği, Levene testi ile incelenmiş ve ADF ile NDF parametrelerinin her ikisinde de gruplar arası varyansların eşit olduğu belirlenmiştir (P>0,05). Bu sonuç, bağımsız örneklem t-testinin klasik formunda uygulanabilmesine olanak sağlamıştır.

İstatistiksel analizlerin tamamı, veri girişlerinin doğruluğu kontrol edildikten sonra SPSS 25.0 ERÜ lisanslı paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm değerlendirmelerde anlamlılık düzeyi P<0,05 olarak kabul edilmiş, elde edilen istatistiksel sonuçlar grup ortalamaları arasındaki farkların yorumlanmasında temel kriter olarak kullanılmıştır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada kabak posasının asit deterjan lif (ADF, %41,56) ve nötral deterjan lif (NDF, %43,88) içeriklerinin, çörek otu posasına kıyasla istatistiksel olarak ileri düzeyde anlamlı biçimde daha yüksek olduğu belirlenmiştir (P<0,001). Bu bulgu, kabak posasının yapısal lif fraksiyonları bakımından zengin bir agro-endüstriyel yan ürün olduğunu ve özellikle ruminant rasyonlarında fiziksel lif kaynağı olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Yüksek ADF ve NDF düzeyleri, rumen fonksiyonlarının sürdürülmesi, geviş getirme aktivitesi ve rumen pH stabilitesinin korunması açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

Literatürde kabak posası ve kabak rezidüsüne dayalı silaj çalışmalarında ADF ve NDF değerlerinin sırasıyla %24,66–43,66 ve %39,10–63,33 aralıklarında değiştiği bildirilmektedir (Canbolat ve ark., 2014; Ülger ve ark., 2020). Bu aralıklar, mevcut çalışmada kabak posası için elde edilen lif fraksiyonu değerleriyle büyük ölçüde uyumlu olup, kabağın doğal olarak yüksek lif içeriğine sahip bir yem hammaddesi olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, kabak posası silajlarına şeker pancarı posası veya nar posası gibi kolay fermente olabilir karbonhidrat içeriği yüksek katkı maddelerinin ilave edilmesinin, ADF ve NDF düzeylerini düşürdüğü ve buna bağlı olarak sindirilebilirliği artırdığı rapor edilmiştir (Ülger ve ark., 2020). Bu durum, kabak posasının lif yoğunluğunun rasyon formülasyonunda uygun katkılarla dengelenebileceğini göstermektedir.

Çörek otu posasında belirlenen daha düşük ADF (%24,68) ve NDF (%32,59) düzeyleri, bu yan ürünün kabak posasına kıyasla daha düşük lif yoğunluğuna sahip olduğunu ve rasyonlarda enerji ve protein yoğunluğu yüksek yem bileşenleriyle birlikte daha esnek biçimde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, kabak posası ile çörek otu posasının birlikte değerlendirilmesi, rasyonlarda lif–enerji dengesinin sağlanmasına katkı sunabilecek tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir.

Lif fraksiyonlarının hayvan besleme açısından önemi dikkate alındığında, NDF düzeyinin yem tüketimini sınırlayıcı, ADF düzeyinin ise sindirilebilirliği belirleyici temel faktörler olduğu bilinmektedir (Van Soest, 1963; Van Soest ve ark., 1991). Bu açıdan değerlendirildiğinde, kabak posasının yüksek lif içeriği, özellikle yüksek konsantre içeren rasyonlarda yapısal lif ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlayabilirken; çörek otu posasının daha düşük lif içeriği, enerji yoğun rasyonlarda kullanım açısından avantaj sunmaktadır.

Öte yandan, çörek otu posasında lif fraksiyonlarıyla birlikte bulunan yüksek yağ içeriği ve biyolojik olarak aktif bileşiklerin, lifin sindirim üzerindeki olası olumsuz etkilerini kısmen dengeleyebileceği bildirilmektedir. Özellikle çörek otu ve türevlerinin antibakteriyel ve antioksidan özellikler sergileyerek rumen ve bağırsak mikrobiyotasını olumlu yönde etkileyebileceği ifade edilmektedir (Al-Homidan ve ark., 2002). Bu durum, çörek otu posasının lif içeriğine rağmen performans parametrelerinde belirgin bir olumsuzluk oluşturmayabileceğini ve fonksiyonel bir yem hammaddesi olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular, kabak posasının yapısal lif yönünden zengin bir kaynak olarak rumen sağlığını destekleyici bir role sahip olduğunu, çörek otu posasının ise daha düşük lif ve yüksek enerji içeriğiyle rasyonlarda tamamlayıcı bir alternatif oluşturduğunu göstermektedir. Bu iki yan ürünün birlikte ve dengeli biçimde kullanılması, ruminant rasyonlarında hem sindirim sağlığının korunmasına hem de enerji–lif dengesinin optimize edilmesine katkı sağlayabilir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çizelge 1. Kabak Posası ve Çörek Otu Posası ADF, NDF analiz sonuçları

	ADF %	**NDF %**
Kabak Posası	41,56 ± 2,03[a]	43,88 ± 0,67[a]
Çörek Otu Posası	24,68 ± 0,54[b]	32,59 ± 0,59[b]
Sig.	< 0,001	< 0,001

.

Kabak posası ve çörek otu posasının lif fraksiyonları incelendiğinde, her iki parametre açısından da posalar arasında istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı farklılıklar saptanmıştır (P<0,001; Çizelge 1). Asit Deterjan Fiber (ADF) içeriği kabak posasında %41,56 ± 2,03 olarak belirlenirken, çörek otu posasında bu değer %24,68 ± 0,54 düzeyinde kalmıştır. Ortalama değerler arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olması, kabak posasının yapısal lif fraksiyonu bakımından çörek otu posasına kıyasla daha yüksek bir ADF içeriğine sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, Nötral Deterjan Fiber (NDF) içeriği de kabak posasında çörek otu posasına göre daha yüksek bulunmuştur. Kabak posasında NDF değeri %43,88 ± 0,67 iken, çörek otu posasında %32,59 ± 0,59 olarak tespit edilmiştir. NDF değerleri arasındaki bu fark da istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlıdır (P<0,001). Çizelge 1'de yer alan farklı harflerle gösterilen (a, b) ortalamalar, her iki posanın hem ADF hem de NDF içerikleri bakımından birbirinden anlamlı düzeyde farklı olduğunu göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen bulgular kabak posasının çörek otu posasına göre daha yüksek yapısal lif (ADF ve NDF) içerdiğini ortaya koymakta; bu durum, kabak posasının ruminant rasyonlarında lif kaynağı olarak, çörek otu posasının ise göreceli olarak daha düşük lif düzeyi ile farklı rasyon bileşimlerinde değerlendirilebileceğine işaret etmektedir.

KAYNAKÇA

Akinmoladun, O. F., Sabi, R. S., & Adedayo, O. T. (2018). Toxicological evaluation of graded levels of freshly harvested bamboo (Bambusaarundinacea) and tridax (Tridax procumbens) leaves on blood chemistry of rabbits. Nigerian Journal of Animal Production, 45(1), 183-197.

Al-Homidan, A., Al-Qarawi, A. A., Al-Waily, S. A., & Adam, S. E. I. (2002). Response of broiler chicks to dietary Rhazya stricta and Nigella sativa. British poultry science, 43(2), 291-296.

Alhotan, R. A. (2021). Commercial poultry feed formulation: Current status, challenges, and future expectations. World's Poultry Science Journal, 77(2), 279-299.

Borkar, V., Motghare, A., Wankhade, B. R., & Bawaskar, S. (2021). Studies on feeding of Azolla meal on feed consumption performance of Kadaknath poultry. Int. J. Chem. Stud, 9, 1037-1040.

Canbolat, Ö., & Kamalak, A. (2014). The effects of urea supplementation on pomegranate pulp (Punica granatum L.) silage fermentation, aerobic stability and in vitro gas production. Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 61(3), 217-223.

Elferink, E. V., Nonhebel, S., & Moll, H. C. (2008). Feeding livestock food residue and the consequences for the environmental impact of meat. Journal of Cleaner Production, 16(12), 1227-1233.

Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of "salchichón"(Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. Meat science, 80(2), 410-417.

Kim, S. W., Less, J. F., Wang, L., Yan, T., Kiron, V., Kaushik, S. J., & Lei, X. G. (2019). Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. Annual review of animal biosciences, 7(1), 221-243.

Mako, A. A., & Ikusika, O. O. (2020). Utilization of Pleurotus sajor-caju biodegraded water hyacinth (Eichhornia crassipes) in a solid state fermentation by West African Dwarf goats in the humid tropics. Tropical Agriculture, 97(3).

OECD-FAO. Organization for Economic Co-operation and Development/Food and Agriculture Organization of the United Nations Agricultural Outlook 2021; OECD Publishing: Paris, France, 2021.

Pfaltzgraff, L. A., Cooper, E. C., Budarin, V., & Clark, J. H. (2013). Food waste biomass: a resource for high-value chemicals. Green Chemistry, 15(2), 307-314.

Santana-Méridas, O., González-Coloma, A., & Sánchez-Vioque, R. (2012). Agricultural residues as a source of bioactive natural products. Phytochemistry reviews, 11(4), 447-466.

Schieber, A., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds—recent developments. Trends in food science & technology, 12(11), 401-413.

Soest, P. V. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. II. A rapid method for the determination of fiber and lignin. Journal of the Association of official Agricultural Chemists, 46(5), 829-835.

Soest, P. V., & Wine, R. H. (1967). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. Journal of the Association of Official Analytical Chemists, 50(1), 50-55.

Ülger, İ., Kaliber, M., Beyzi, S. B., & Konca, Y. (2020). Possible ensiling of pumpkin (Cucurbita pepo) residues. Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences, 44(4), 853-859.

Wadhwa, M., Kaushal, S., & Bakshi, M. P. S. (2006). Nutritive evaluation of vegetable wastes as complete feed for goat bucks. Small Ruminant Research, 64(3), 279-284.

Waldron, K. W. (Ed.). (2007). Handbook of waste management and co-product recovery in food processing. Elsevier.

Williams, P. E. V., & Agri, A. B. (2014). Alternative feed ingredients–Overview from an end-users perspective with specific reference to bioethanol co-products. Adv. Anim. Biosci, 5(1).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KIRSAL ALANDAKİ ATIKLARIN TARIMSAL YAPILARDA İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

Prof. Dr. Havva Eylem POLAT[1]

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye.

epolat@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Araş. Gör. Ahmet Cengiz YILDIRIM[2]

Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

acyildirim@ankara.edu.tr

ÖZET

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. 2050'lere gelindiğinde 10 milyarı geçmesi beklenen nüfusun temel olarak barınma ve gıdaya olan ihtiyaç aynı şekilde artış gösterecektir. Yakın gelecekte artan nüfusun gıda talebini karşılamak için yoğun bir üretim sürecinin mecburi bir hal almasının yanı sıra iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, gün geçtikçe azalan su kaynakları, yeni yerleşim alanlarının açılması ile tarım alanlarının azalması tarım sektörünü bekleyen başlıca zorluklardandır. Öte yandan tarımsal üretim hem iklim değişikliğine olumsuz etkileri olan hem de bu süreçten olumsuz etkilenen bir sektördür. Günümüzde yapıların olmazsa olmaz temel malzemesi olan çimentonun üretim süreci küresel karbon emisyonlarının içerisinde %5'lik bir paya sahiptir. Tarımsal üretimi arttırmak için tıpkı kentlerde olduğu gibi yapılaşma gereksinimi artacaktır. Küresel çapta çimento üretiminin yakın zamanda 14 milyar m^3'ten 20 milyar m^3'e çıkacağı tahmin edilmektedir. Bu miktar her geçen gün artan nüfusla ve yapılaşma ile birlikte daha da artmaktadır. Çevrenin korunması, tarımsal üretimin ekonomik olarak sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla alınan bir dizi teknik önlemin yanında yapı malzemelerinde de farklı alternatifler üzerinde durulmalıdır.

Bu çalışmada özellikle kırsal alanda yapı maliyetlerinin düşürülmesi, iklim değişikliğine bağlı olarak çevrenin korunmasına katkıda bulunulması amacıyla tarımsal üretimde açığa çıkan atıkların yapı malzemesi olarak kullanılmasına yönelik uygulamalar ve yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çimento, Tarımsal Atık, Tarımsal İnşaat, Yapı Malzemesi, Yeşil Dönüşüm.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE USE OF WASTE IN RURAL AREAS AS CONSTRUCTION MATERIAL IN AGRICULTURAL STRUCTURES

Prof. Dr. Havva Eylem POLAT

Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye.

epolat@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-2159-0666

Res. Assis. Ahmet Cengiz YILDIRIM

Ankara University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Ankara, Türkiye.

acyildirim@ankara.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-1049-437X

ABSTRACT

The global population is expanding at an accelerated rate. By the year 2050, it is projected that the global population will surpass 10 billion, thereby necessitating an escalation in the demand for basic necessities such as shelter and sustenance. In the near future, in order to meet the food demands of the growing population, intensive production methods will be required. Moreover, the adverse effects of climate change, the gradual depletion of water resources, and the reduction of agricultural land due to the development of new settlement areas are among the main challenges facing the agricultural sector. Conversely, agricultural production is a sector that exerts a detrimental effect on climate change, and is concurrently subject to its own deleterious impacts. The production process of cement, an essential basic material for contemporary structures, accounts for 5% of global carbon emissions. It is evident that, in order to increase agricultural production, there will be a consequent increase in the need for construction, in a manner analogous to the trend that has been observed in urban areas. Current projections indicate that global cement production will soon increase from 14 billion m^3 to 20 billion m^3. This figure is increasing on a daily basis, owing to the expanding population and construction activities. In addition to a series of technical measures that have been implemented to protect the environment and ensure the economic sustainability of agricultural production, consideration should also be given to different alternatives in building materials.

This study examines applications and research aimed at utilising agricultural waste as construction material, particularly in rural areas, with the objectives of reducing construction costs and contributing to environmental protection in response to climate change.

Keywords: Cement, Agricultural Waste, Agricultural Construction, Construction Material, Green Transformation.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. 2050'lere gelindiğinde 10 milyarı (Anonim2025a) geçmesi beklenen nüfusun temel olarak barınma ve gıdaya olan ihtiyaç aynı şekilde artış gösterecektir. Yakın gelecekte artan nüfusun gıda talebini karşılamak için yoğun bir üretim sürecinin mecburi bir hal almasının yanı sıra iklim değişikliğinin olumsuz etkileri, gün geçtikçe azalan su kaynakları, yeni yerleşim alanlarının açılması ile tarım alanlarının azalması tarım sektörünü bekleyen başlıca zorluklardandır. Tüm bu zorluklar güvenilir gıdaya olan ulaşımı da gün geçtikçe zorlaştırmaktadır. Öte yandan tarım sektörü, iklim değişikliğini sonucunda meydana gelen olaylardan olumsuz etkilenmekle beraber atmosfere önemli miktarlarda da sera gazı salımı yapan bir sektör konumundadır. Tarım sektörü dünyadaki tatlı su kaynaklarının yaklaşık olarak %70'ini kullanmaktadır (Anonim2024). Azalan su kaynakları gelecek yıllarda ciddi bir problem olacaktır. Dünya nüfusunun en az yarısı yılın en az bir bölümünde ciddi su sıkıntısı çekmektedir. Dünya genelinde aşırı yağışlar çok ciddi bir şekilde artarken meteorolojik kuraklığın sıklığı, süresi ve şiddeti de artmaktadır. İklim değişikliği ile beraber bu döngüde de artış gerçekleşeceği öngörülmektedir (Anonim 2024).

Nüfusun artışına bağlı olarak hem kırsal hem kentsel alanlarda yapılaşma da aynı oranda artmıştır. Günümüzde yapıların olmazsa olmaz temel malzemesi olan çimentodur. Bugün çimento dünyada sudan sonra en çok kullanılan ikinci malzemedir. Günümüzde 14 milyar m^3 dünya çapındaki çimento üretiminin ilerleyen yıllarda 20 milyar m^3 olması beklenmektedir (Anonim 2025b). Dünya genelinde çimento üretiminden kaynaklanan karbon emisyonu miktarı yaklaşık olarak %5 civarınadır (Gbadeyan vd. 2023). Çimentonun ana bileşeni olan klinker ise çimentodan kaynaklanan emisyonların %90'ını oluşturmaktadır (Anonim 2025b). Artan yapılaşma, iklim değişikliği gibi faktörler sürdürülebilirlik açısından artık inşaat malzemelerinde yenilikçi yaklaşımları zorunlu kılmıştır. Kırsaldaki atık malzemelerin tarımsal yapılarda yeniden inşaat malzemesi veya katkı malzemesi olarak kullanılması çimento üretiminden kaynaklanan emisyonları azaltmanın yanı sıra kırsal alandaki atık sorununu etkili bir şekilde ortadan kaldırmak için son derece önemlidir. Atık malzemelerin karıştırılması ile elde edilen yeşil betona olan artan talebin; yüksek kaliteli ürüne olan ihtiyaç, ülkelerin sera gazı emisyonlarını azaltma isteği, doğal kaynakların korunması gerekliliği ve depolama alanlarının sınırlılığı gibi sebepleri vardır (Liew vd. 2017).

2. ATIKLARIN TARIMSAL YAPILARDA İNŞAAT MALZEMESİ OLARAK KULLANIMI

Çevresel sorunları azaltmak amacıyla tarımsal üretim sonucu ortaya çıkan bazı atıkların yapı malzemesi olarak tekrar değerlendirilmesi söz konusu olabilmektedir. Şeker kamışı posası, çeltik kabuğu gibi tarımsal atıklar çimentoda katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu malzemeler iri agrega olarak veya kül haline getirilip kullanılabilir (He vd. 2020).

Gbadeyan vd. (2023), şeker kamışı posası külü, palmiye yaprağı külü, zeytin atıkları ve çeltik kabuğu külü gibi malzemelerin çimento ile karıştırılması ile tuğla, parke taşı, beton ve kaplamalar gibi yapı malzemelerinin kritik özelliklerini ele almışlardır. Atık malzemelerin ilavesiyle tuğlaların dayanımı %65 oranında artarken birim ağırlıklarının %25 oranında azaldığını ifade etmişlerdir. Ayrıca atık malzemelerin kullanımı ile kullanılan çimento oranının %50 oranında ikame edilebileceğini belirtmişlerdir.

Jaramillo vd. (2025) yaptıkları çalışmada çimento bazlı malzemelerde uygun çimento, lignin ve büyükbaş hayvan gübresinin karışımını belirmek için bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda hazırlanan karışımın 1.7 MPa basınç dayanımı gösterdiğini bildirmişlerdir.

Gastaldini vd. (2014) yapmış oldukları araştırmada, Portland çimentosuna farklı oranlarda çeltik kabuğu külü karıştırmışlardır. Bu çalışmada betonda; toplam rötre, rötre öncesi ve sonrası klor geçirgenliğini ele almışlardır. Çalışma sonucunda betondaki çeltik kabuğu külü arttıkça betonun toplam rötre miktarının, basınç dayanımının arttığını ifade etmişlerdir. Ek olarak %5 çeltik kabuğu külü içeren betonun 35-55 MPa basınç dayanımına sahip olduğu ayrıca tamamen Portland çimentosu ile hazırlanan betona göre daha az maliyetli olduğu ifade edilmiştir.

Thomas (2018), çeltik kabuğu külünün çimento ile karışımı sonucunda elde edilen betonun özelliklerini incelemiştir. %20 oranında çeltik kabuğu külünün kullanılması betonun basınç dayanımını arttırmıştır. %30 oranında çeltik kabuğu külünün kullanılması kompasitesini arttırmış ve su geçirgenliğini azaltmış olduğunu ifade etmiştir.

Zhang vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada kullanılan çimento miktarını %40 varan oranlarda çeltik kabuğu külü ile ikame ettiklerini ifade etmişlerdir. Karışımın 28. Gün basınç dayanımın 111 MPa olduğunu bildirmişlerdir. Çimentonun çeltik kabuğu külü ile

ikame edilmesiyle sürdürülebilir, yüksek dayanımlı ve yüksek süneklik özelliğine sahip malzemenin üretilebileceğini bildirmişlerdir.

Tavares vd. (2022), gerçekleştirdikleri araştırmada çimentoya %0, %5, %10 ve %15 oranlarında muz atıkları külü karıştırmışlardır. Elde edilen betonun kıvam, birim ağırlık su emme derecesi, basınç dayanımı gibi birtakım özelliklerini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda muz atıkları külünün %10 oranında kullanılması ile elde edilen beton incelenen özellikler bakımından belirgin iyileşmeler sergilemiştir. Yapılan analizlerde hazırlanan betona muz atıklarının külü ilave ediliğinde 1MPa basınç dayanımı elde etmek için gereken çimento miktarının önemli ölçüde azaldığını da ifade etmişlerdir.

Kanning vd. (2014), yapmış oldukları çalışmada muz atıkları külünün puzolanik malzeme olarak kullanımını araştırmışlardır. Puzolonik malzeme olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir. İçerisinde %10 ve %20 oranlarında muz atıkları külü bulunan betonun hiç karıştırılmayan betona kıyasla sırası ile %25 ve %40 daha fazla basınç dayanımı gösterdiği tespit edilmiştir. %10 atık külü içeren numunenin basınç dayanımı 38 MPa bulunurken %20 içeren numunenin 47 MPa olarak bulunmuştur.

Torabzadeh Kelestheri vd. (2025), zeytin atıkları külü ve zeytin yaprakları külünün çimento katkı maddesi olarak karşılaştırıldığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada betonların mekanik özellikler, dayanım ve çevresel fayda gibi unsurları ele almışlardır. Çalışma sonucunda zeytin yaprağı külünü karıştırılarak hazırlanan betonun hafif yapısal uygulamalarda kullanılması daha uygunken, zeytin atıkları külü karıştırılarak hazırlanan betonun daha dayanım gerektiren alanlarda kullanımının uygun olduğunu ifade etmişlerdir. Her iki malzemenin kullanılmasının CO_2 emisyonunu %12 azalttığını belirtmişlerdir.

3. SONUÇ

Dünya nüfusunun artışı, temiz ve güvenilir gıdaya ulaşımı daha da zor bir duruma getirmiştir. Tarımsal üretimin artırılması istenirken bir yandan da artan nüfusun barınması ve temel gereksinimler için tarıma elverişli alanlar yok edilmektedir. Bu durum, daha küçük alanlarda yoğun tarımsal üretim faaliyetlerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Yoğun üretim faaliyetleri sonucu fazla miktarda atık açığa çıkmaktadır. Atıkların bertarafı, depolanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle kırsal alanlarda ortaya çıkan atıkların geri dönüştürülerek yeniden kullanımı konusu, yeşil dönüşüm ve atık azaltımı için

önemli bir anahtar olmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe kullanılan kimyasal ve petrol türevi pahalı malzemeler yerine yük kombinasyonlarına, iç ve dış ortam etkilerine dayanıklı yapı malzemeleri üretilebilmektedir. Bu malzemelerin yine kırsal alandaki tarımsal yapılarda kullanımı da hem tarım işletmelerinin yatırım maliyetlerini azaltacak hem de çevrenin korunmasını sürdürülebilir kılacaktır.

4. KAYNAKÇA

Anonim (2025a). Web Sitesi: https://www.un.org/en/desa/world-population-projected-reach-98-billion-2050-and-112-billion-2100. Erişim Tarihi: 10.12.2025.

Anonim (2025b). Web Sitesi: https://www.weforum.org/stories/2024/09/cement-production-sustainable-concrete-co2-emissions/. Erişim Tarihi: 10.12.2025.

Anonim (2024). United Nations, The United Nations World Water Development Report 2024: Water for Prosperity and Peace. UNESCO, Paris.

Gastaldini, A. L. G., Da Silva, M. P., Zamberlan, F. B., & Neto, C. M. (2014). Total shrinkage, chloride penetration, and compressive strength of concretes that contain clear-colored rice husk ash. *Construction and Building Materials*, *54*, 369-377.

Gbadeyan, O. J., Sibiya, L., Mpongwana, N., Linganiso, L. Z., Linganiso, E. C., & Deenadayalu, N. (2023). Manufacturing of building materials using agricultural waste (sugarcane bagasse ash) for sustainable construction: towards a low carbon economy. A review. *International Journal of Sustainable Engineering*, *16*(1), 368-382.

He, J., Kawasaki, S., & Achal, V. (2020). The utilization of agricultural waste as agro-cement in concrete: A review. *Sustainability*, *12*(17), 6971.

Jaramillo, H. Y., Vasco-Echeverri, O., López-Barrios, R., & García-León, R. A. (2025). Optimization of Bio-Brick Composition Using Agricultural Waste: Mechanical Properties and Sustainable Applications. *Sustainability*, *17*(5), 1914.

Kanning, R. C., Portella, K. F., Bragança, M. O., Bonato, M. M., & dos Santos, J. C. (2014). Banana leaves ashes as pozzolan for concrete and mortar of Portland cement. *Construction and Building Materials*, *54*, 460-465.

Liew, K. M., Sojobi, A. O., & Zhang, L. W. (2017). Green concrete: Prospects and challenges. *Construction and building materials*, *156*, 1063-1095.

Tavares, J. C., Lucena, L. F., Henriques, G. F., Ferreira, R. L., & dos Anjos, M. A. (2022). Use of banana leaf ash as partial replacement of Portland cement in eco-friendly concretes. *Construction and Building Materials*, *346*, 128467.

Thomas, B. S. (2018). Green concrete partially comprised of rice husk ash as a supplementary cementitious material–A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 3913-3923.

Torabzadeh Keleshteri, M. T., DarvishaliNezhad, A., & Ghasemzadeh Mousavinejad, S. H. (2025). Sustainable Lightweight Concrete with Olive Waste Ash and Olive Leaf Ash: Mechanical Properties, Durability and CO2 Emission Reduction. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-76.

Zhang, Z., Liu, S., Yang, F., Weng, Y., & Qian, S. (2021). Sustainable high strength, high ductility engineered cementitious composites (ECC) with substitution of cement by rice husk ash. *Journal of Cleaner Production*, *317*, 128379.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KURAKLIĞA DAYANIKLI ŞEKER PANCARI GENOTİPLERİNİN TESPİTİNDE BASİT, HIZLI VE DÜŞÜK MALİYETLİ SELEKSİYON YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Bengisu KAYADELEN
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Biyoteknoloji Ana Bilim Dalı
kayadelenbengisu@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-5820-7361

Prof. Dr. Mehmet ARSLAN
Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Biyoteknoloji Bölümü
mehmetarslan@erciyes.edu.tr
ORCID:0000-0002-0530-157X

ÖZET

İklim değişikliği ve küresel ısınma nedeni ile yarı kurak bölgelerde şeker pancarı yetiştiriciliği için gerekli sulama suyu miktarı her geçen gün önemli ölçüde azaltmaktadır. Kültürü yapılan modern şeker pancarı çeşitlerinin hemen hepsi kuraklık stresinden oldukça fazla etkilenmektedirler. Sulama suyunun kısıtlı olduğu bölgelerde kuraklığa dayanıklı şeker pancarı çeşitlerinin geliştirilmesi şeker pancarı tarımının sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir. Bu çalışma ıslah programlarında kullanılabilecek kurağa dayanıklı şeker pancarı genotiplerini belirlemesinde kullanılabilecek basit, hızlı ve düşük maliyetli seleksiyon yöntemini belirlemek amacı ile yürütülmüştür. Araştırma 36 adet şeker pancarı genotipi ve 4 ticari çeşit kullanılmıştır. Şeker pancarı genotip ve çeşitleri % 0, 10 ve 15 polietilen glikol (PEG 6000) içeren Hoagland besin solüsyonu kullanılarak hidroponik kültürde ve perlit içeren saksılarda yetiştirilmiştir. Viyollerde çimlendirilen bitkiler 2-3 yapraklı dönemde hidroponik kültüre ve perlit kültürüne alınmıştır. Dikimden bir hafta sonra PEG 6000 uygulamaları başlatılmış, PEG 6000 uygulamasından 14 ve 21 gün sonra ölçüm ve gözlemler yapılmıştır. Araştırmada kullanılan şeker pancarı genotipleri PEG 6000 uygulamalarından farklı derecede etkilenmiştir. Kontrole kıyasla hidroponik ve perlit kültüründe uygulamadan sonra 14. günde yapraklarda sarama, 21. günde yapraklarda kurumalar gözlenmiştir. ERU015, ERU191, ERU081, ERU117 ve ERU093 nolu genotipler yüksek düzeyde kurağa dayanıklı ve Serenada çeşidi ise orta seviyede kurağa dayanıklı çeşit olarak belirlenmiştir. Her iki yöntemden benzer

sonuçlar elde edilmesine rağmen PEG 6000 ve Hoagland çözelti sarfiyatı açısından hidroponik kültür perlit kültürüne kıyasla daha maliyetli bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Beta vulgaris*, kuraklık, dayanıklılık, seleksiyon, şeker pancarı

,

DETERMINATION OF A SIMPLE, FAST AND LOW-COST SCREENING METHOD FOR THE DETERMINATION OF DROUGHT-TOLERANT SUGAR BEET GENOTYPES

Bengisu Kayadelen
Erciyes University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Agricultural Biotechnology
kayadelenbengisu@gmail.com
ORCID ID: 0009-0007-5820-7361

Prof. Dr. Mehmet Arslan[2]
Erciyes University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology
mehmetarslan@erciyes.edu.tr
ORCID ID:0000-0002-0530-157X

ABSTRACT

The amount of irrigation water required for sugar beet cultivation in semi-arid regions is significantly reduced due to climate change and global warming. Almost all cultivated modern sugar beet varieties are highly affected by drought stress. Developing drought-tolerant sugar beet varieties in regions where irrigation water is limited is very important for the sustainability of sugar beet cultivation. This study was carried out with the aim of determining a simple, fast and low-cost selection method that can be used to determine drought-resistant sugar beet genotypes in the breeding programs. Thirty six sugar beet genotypes and four commercial varieties were used in the study. Sugar beet genotypes and varieties were grown in hydroponic culture and in pots containing perlite using Hoagland nutrient solution with 0, 10 and 15% polyethylene glycol (PEG 6000). The grown in the vials were transferred to hydroponic culture and perlite culture when they had 2-3 leaves. PEG 6000 applications were started one week after transplanting, and measurements and observations were made 14 and 21 days after PEG 6000 application. The tested sugar beet genotypes and cultivars were significantly affected by PEG 6000 applications. Compared to the control, yellowing of the leaves was observed on the 14th day and drying of the leaves was observed on the 21st day after the application in hydroponic and perlite culture. Genotypes ERU015, ERU191, ERU081, ERU117 and ERU093 were determined to be highly drought tolerant and Serenada variety was determined to be moderately drought tolerant. Although similar results were

obtained from both methods, hydroponic culture was found to be more costly than perlite culture in terms of PEG 6000 and Hoagland solution consumption.

Key words: *Beta vulgaris*, drougt, tolerance, selection, sugar beet

1. GİRİŞ

Şekerpancarı (*Beta vulgaris* L.) yüksek oranda şeker içeren, çift çenekli, iki yıllık, yabancı döllenen bir bitkidir. Normalde bitki birinci yıl kök gövdesini oluşturmakta, ikinci yıl ise vernalize olarak sapa kalkıp çiçeklenerek tohum bağlamaktadır (Kockelmann ve ark. 2010). Dünyada genelinde yaklaşık 125 ülkede şeker üretimi yapılmasına rağmen tüm ülkelerde şeker tüketilmektedir. Dünya beyaz şeker üretiminin yaklaşık %20'si şeker pancarından, geriye kalan kısım ise şeker kamışından (*Saccharum officinarum* L.) elde edilmektedir (Wu ve ark., 2021; Misra ve ark., 2022) Farklı bitki familyalarına ait olan şeker pancarı ve şeker kamışının, iklim istekleri ve fotosentez yolakları da farklı olmasına rağmen elde edilen şekerin kimyasal bileşeni sakarozdur (beyaz kristal şekerde %99,5'ten fazla). Şeker pancarı, ılıman iklimlerde, özellikle Fransa, Almanya, Rusya, Polonya, Türkiye ve Kuzey ABD gibi ülkelerde yetişirken, şeker kamışı tropikal ve yarı-tropikal bölgelerde (Hindistan, Avustralya, Küba, Brezilya, vb.) yetiştirilmektedir.

Dünyada toplam şeker üretimi yıllık 187.5 milyon ton olup kişi başına şeker tüketimi ise yaklaşık 22.5 kg kadardır. Kişi başına en fazla şeker tüketen ülkelerin başında 46 kg ile ABD gelmekte olup bu ülkeyi 40 kg ile Rusya ve 37 kg ile Almanya ve Hollanda izlemektedir. Artan dünya nüfusu nedeni ile yıllık şeker tüketimi yaklaşık %1.4 oranında artmaktadır. Türkiye'de şeker pancarı 307.067 ha alanda ekilmekte, 23.0 milyon ton pancar ve 3 milyon ton şeker üretimi gerçekleştirilmekte olup şeker üretiminin yaklaşık %97' si şeker pancarından, geriye kalan kısım ise mısırdan (nişasta bazlı şeker) elde edilmektedir.

Kuraklık, yarı kurak bölgelerde bitki yetiştiriciliğini sınırlayan abiyotik stres faktörlerinin en başında gelmektedir. Su stresi şeker pancarında verimi ve kaliteyi olumsuz etkilemektedir (Liang ve ark., 2018; Zou ve ark., 2022; Liu ve ark., 2025). Yarı kurak bölgelerde, iklim değişikliği nedeni ile kuraklık sıklığının artması ve yağış rejiminde değişmeler, şeker pancarı verimi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Yolcu ve ark., 2021). Avrupa genelinde kuraklık stresinden dolayı şeker pancarında verim kayıplarının %5 ile 30 arasında olduğu Mısır ve İran gibi yarı kurak bölge ülkelerinde verim kayıpları çok daha fazla olmaktadır (Ober, 2001; Pidgeon ve ark., 2001; Jones ve ark., 2003; Islam ve ark., 2020). Kuraklık, şeker pancarında kök biyokütlesini azaltmanın ötesinde, temel fizyolojik süreçleri bozarak şeker oranını etkilemektedir.

Şeker pancarı, özellikle diğer glikofitik bitkilerle karşılaştırıldığında, abiyotik stres faktörlerine nispeten daha dayanıklıdır (Hoffmann, 2010; Misra ve ark., 2022). Şeker pancarı toprakğın derinliklerindeki neme erişebilen derin bir kazık kök sistemine sahiptir. Buna karşın, özellikle kurağa hassas gelişim döneminde uzun süreli veya şiddetli kuraklık, kök-

gövde ve şeker veriminde ciddi kayıplara yol açar. Genç fideler özellikle kuraklık stresine karşı savunmasızdır, buna karşın orta gelişmiş ve tam gelişmiş bitkiler genellikle kuraklık stresine daha dayanıklıdır (Li ve ark, 2023). Erken dönemde ortaya çıkan kuraklık bitki büyümesini ve yaprak alanı gelişimini azaltabilirken, geç sezon kuraklığı öncelikle fotosentezi ve köklerde şeker birikimini kısıtlar (Misra ve ark., 2022). Bitki örtüsü oluştuktan sonra ortaya çıkan su stresi, yaprak genişlemesinin azalmasına ve bazen de erken yaşlanmaya yol açarak, sükroz üretim kapasitesini düşürür (Misra ve ark., 2022).

Şekerpancarı ıslahı şekerpancarı tarımının önemli olduğu ülkelerde 150 yıldan beri devam etmekte olup, ıslahçı kurum ve kuruluşlar milyonlarca dolar yatırımla, binlerce dönüm serada, arazide ve laboratuvarlarda yüzlerce personele ıslah çalışmalarını sürdürmektedirler. Şekerpancarı ıslahında esas amaç birim alandan yüksek şeker verimi elde etmek olup, diğer ıslah amaçları doğrudan veya dolaylı olarak esas amaç olan birim alana şeker verimini etkilemektedir. Kurağa dayanıklılık, hastalık ve zararlılara dayanıklılık, sapa kalkmaya dayanıklılık, monogermlik, depolamaya dayanıklılık, gövde şekli, erkencilik, soğuğa dayanıklılık ve şekere işlenebilme potansiyeli ise verimi ve kaliteyi etkileyen önemli ıslah amaçlarını oluşturmaktadır.

Tarla koşullarında kurağa dayanıklılık amaçlı seleksiyon için etkin ve güvenilir seleksiyon kriterleri henüz tam olarak belirlenmemiştir (Ribaut ve ark., 1997; Kirigwi ve ark., 2004). Ayrıca tarla koşullarında yapılacak seleksiyon zaman alıcı ve çok masraflıdır. Bu nedenle kurağa dayanıklı şeker pancarı genotiplerinin seçiminde hızlı, güvenilir ve düşük maliyetli seleksiyon yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma şeker pancarı kurağa dayanıklılık ıslah programlarında kullanılabilecek hızlı, ucuz ve güvenilebilir bir seleksiyon yöntemi geliştirilmek için yürütülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma, 2025 yılında Erciyes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Biyoteknoloji Laboratuvarında ve Kayseri Şeker A.Ş. seralarında yürütülmüştür. Şeker pancarı genotipleri Erciyes Üniversitesi, Ziraat Fakültesi ve Kayseri Şeker Fabrikası Ar-Ge biriminden, Beranche, Gregoria, Molly ve Serenada şeker pancarı çeşitleri ise satın alınarak temin edilmiştir.

Çalışmada kullanılan tohumlar torf içeren viyollere ekilmiş ve normal bakım işlemleri yapılarak şeker pancarı fideleri yetiştirilmiştir. Fideler 2-3 yapraklı döneme geldiğinde hidroponik çalışmalarda kullanılan küvetlere alınmıştır. Küvetler, Hoagland besin çözeltisi [(M: 3.0 x10-3), $Ca(NO_3)2$; 0.9x10-3, K_2SO_4; 1.0x10-3, $MgSO_4$; 0.2x10-3, KH_2PO_4; 1.0x10-5, H_3BO_3; 1.0x10-6, $MnSO_4$; 1.0x10-7, $CuSO_4$; 1.0x10-8 $ZnSO_4$; 1.0x10-4, $(NH_4)6Mo_7O_{24}$;

1.0x10-6 ve Fe-EDTA (10-4 M)] (Hoagland ve Arnon, 1950) ile doldurulmuş ve her fide, köklerin besin çözeltisi ile temasını sağlamak amacıyla süngere sarılarak tablalardaki gözlere sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Tablalardaki bitki gökleri besin çözeltisine temas edecek şekilde küvetlerin üstüne yerleştirilmiştir. Havalandırma hava kompresörüne bağlı plastik hortumlarla sağlanmıştır. Hidroponik kültürde Hoagland besin çözeltisinde bir hafta bekletilen bitkiler %10 ve 15 oranında PEG 6000 içeren Hoagland besin çözeltisine alınmıştır. Kontrol grubundaki bitkiler ise sadece Hoagland besin çözeltisinde tutulmuştur.

Saksı çalışmaları 0.5 L perlit içeren saksılarda yürütülmüştür. Hidroponik kültürde olduğu gibi 2-3 yapraklı fideler her saksıya bir fide olacak şekilde dikilmiştir. Saksılar bir hafta sadece Hoagland besin çözeltisi içeren sulama suyu ile sulanmıştır. Dikimden bir hafta sonra %10 ve 15 oranında PEG 6000 içeren Hoagland besin çözeltisi ile sulanmıştır. Kontrol grubundaki bitkiler ise sadece Hoagland besin çözeltisi ile sulanmıştır. Hidroponik ve saksı kültürü çalışmaları tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre dört tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

PEG 6000 uygulamasından 14 ve 21 sonra olmak üzere iki farklı ölçüm ve gözlem yapılmış, şeker pancarı genotiplerinin kurağa dayanıklılık durumları değerlendirilmiştir. Yapraktaki klorofil ölçümü ise SPAD-502 (Minolta) ölçüm aleti kullanılarak yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarından elde edilecek edilen veriler Tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre SAS istatistik programında analizine tabi tutulmuştur. Şekerpancarı genotipleri ve stres doz ortalamaları arasındaki farklılıklar LSD (0.05) yöntemine göre karşılaştırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kuraklık denemsine alınan şekerpancarı genotip ve çeşitleri 21 gün söre ile %0, 10 ve 15 düzeyinde PEG 6000 içeren Hoagland besin çözeltisi yetiştirilmiştir. Bu makalede sadece %15 PEG 6000 içeren Hoagland besin çözeltisinden elde edilen veriler sunulmuştur. Çizelge 1'den de görüldüğü gibi PEG 6000 ile oluşturulan kuraklık stresine genotip ve çeşitler farklı tepki göstermiştir. Şeker pancarı genotiplerinde yaprak sararmaları ve yaprak kenarlarından başlayan yaprak kurumaları kuraklık stresine karşı gösterdikleri bariz tepkiler olarak dikkat çekmiştir. Çalışmada kullanılan 36 genotipten dört tanesi %15 PEG 6000 uygulamasından en az düzeyde etkilenerek kurağa tolerant olarak seçilmiştir. Şeker pancarı çeşitlerinden Serenada kurağa orta düzeyde dayanıklılık göstermiştir.

Çizelge 1. Farklı şeker pancarı genotip ve çeşitlerinin dikimden 21 sonra %15 PEG 6000 içeren hidroponik ve saksı kültüründe su stresine tepkisi ve SPAD değerleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Genotipler	Hidroponik Kültür			Saksı Kültürü		
	Kuraklık stresine tepkisi	SPAD değeri		Kuraklık stresine tepkisi	SPAD değeri	
		Stres	Kontrol		Stres	Kontrol
ERU001	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	49.2	41.7	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	45.1	34.2
ERU082	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	44.3	41.0	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	41.8	36.5
ERU002	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	98.6	54.60	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	82.4	52.3
ERU004	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	63.7	38.1	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	56.5	41.1
ERU007	Yapraklar tamamen kuru.	107.5	48.2	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	108.1	53.6
ERU008	Yapraklar tamamen kuru.	64.2	54.3	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	79.0	45.8
ERU009	Yapraklar kenarlardan kuru.	82.4	36.1	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	76.2	39.1
ERU011	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	54.2	32.1	Dayanıksız, yaprak kenarlarında kuruma var.	91.0	63.7
ERU013	Yapraklar tamamen kurudu.	86.5	41.4	Dayanıksız, yapraklar tamamen kurudu.	75.3	54.1
ERU015	Dayanıklı, yapraklar canlı.	41.5	40.3	Dayanıklı, yapraklar canlı.	39.9	32.6

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ERU017	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	74.9	37.0	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	60.8	43.7
ERU019	Yapraklar tamamen kuru.	80.2	37.4	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	61.7	40.6
ERU021	Yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	78.1	32.8	Dayanıksız, yaprak kenarları kuru, yapraklar canlı.	73.4	39.3
ERU025	Yapraklar tamamen kuru.	84.3	32.4	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	72.1	49.0
ERU026	Yapraklar tamamen kuru.	46.5	35.6	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	46.5	36.5
ERU031	Yapraklar tamamen kuru.	69.6	41.4	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	63.5	39.2
ERU033	Yaprak kenarları kurudu küçük yapraklar canlı.	34.5	42.2	Dayanıksız, yaprak kenarları kurudu küçük yapraklar canlı.	33.8	31.4
ERU036	Dayanıklı, yaprak kenarları kuru.	40.3	37.7	Dayanıksız, yaprak kenarları kurudu küçük yapraklar canlı.	41.1	35.5
ERU037	Dayanıksız, tüm yapraklar kurudu.	65.4	28.2	Dayanıksız, tüm yapraklar kurudu.	62.6	44.0
ERU044	Genç yapraklar canlı, yaşlı yapraklar büyük çoğunlukla kuru	58.3	34.7	Genç yapraklar canlı, yaşlı yapraklar büyük çoğunlukla kuru	44.1	36.2
ERU047	Dayanıksız, tüm yapraklar kuru.	59.3	34.3	Dayanıksız, tüm yapraklar kuru.	62.5	48.7
ERU049	Dayanıksız, tüm yapraklar kuru.	75.2	36.1	Dayanıksız, tüm yapraklar kuru.	59.5	41.3
ERU055	Genç yapraklar canlı, yaşlı yapraklar büyük çoğunlukla kuru	43.3	37.0	Genç yapraklar canlı, yaşlı yapraklar büyük çoğunlukla kuru	67.3	42.4
ERU056	Dayanıksız, tüm yapraklar kurudu.	59.1	34.8	Dayanıksız, tüm yapraklar kurudu.	55.7	39.8

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ERU166	Dayanıksız, yapraklar tamamen kurudu.	120.7	32.6	Dayanıksız, yapraklar tamamen kurudu.	112.6	54.3
ERU191	Dayanıklı, yapraklar yeşil, yapraklarda kuruma yok	41.7	52.0	Dayanıklı, yapraklar yeşil, yapraklarda kuruma yok	59.7	41.0
ERU164	Yapraklar canlı yaprak kenarları kuru.	36.4	33.1	Yapraklar canlı yaprak kenarları kuru.	45.8	36.5
ERU154	Dayanıksız, yapraklar kurudu.	47.8	32.1	Dayanıksız, yapraklar kurudu.	41.8	32.4
ERU081	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok.	53.6	40.1	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok.	45.8	34.6
ERU192	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	65.3	40.7	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	60.4	40.3
ERU149	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	71.3	49.9	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	68.5	40.2
ERU132	Dayanıksız, yapraklar çoğunlukla kuru.	72.8	36.4	Dayanıksız, yapraklar çoğunlukla kuru.	66.1	44.5
ERU177	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	73.9	51.6	Dayanıksız tüm yapraklar kuru.	68.5	38.4
ERU117	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok	44.1	43.9	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok	42.0	32.7
ERU193	Dayanıksız, yapraklar kuru, bitkiler canlı	46.2	53.0	Dayanıksız, yapraklar kuru, bitkiler canlı	55.7	36.9
ERU093	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok	55.7	34.9	Dayanıklı, yapraklar yeşil yapraklarda kuruma yok	48.3	40.0
Bernanche	Genç yapraklar canlı yaşlı yaprakların kenarlarında kuruma var.	61.1	43.5	Dayanıksız, genç yapraklar canlı yaşlı yaprakların	57.7	38.6

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

				kenarlarında kuruma var.		
Gregoria	Bitki canlı, yaprak kenarları kuru	98.0	46.9	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	97.0	49.7
Molly	Bitki canlı, yaprakların çoğu kuru	47.6	50.9	Dayanıksız, yapraklar tamamen kuru.	74.2	54.3
Serenada	Orta düzey dayanıklı, yapraklar yeşil, kuruma çok az	61.1	47.4	Orta düzey dayanıklı, yapraklar yeşil, kuruma çok az	62.7	49.5
LSD (0.5)		4.4	5.2		3.5	3.2

Görsel 1. Kuraklık stres uygulamalarından farklşı derecede etkilenen bitkiler. A=Kontrol, B=Hafif etkilenen genotip, C=Orta düzet etkilenen genotip, D=Şiddetli düzey etkilenen genotip

SPAD metre yaprakta oransal klorofil yoğunluğunu yaprak yüzeyinde ışığın ‘‘kırmızı ve infrared dalga boyu (sırasıyla 659 nm-940 nm dalga boyunda) yansımalarını ölçerek belirlemektedir’’(Inada, 1963). SPAD okuma değerleri genotipler arasında önemli derecede farklılık göstermiştir. Şeker pancarı genotiplerinde %15 oranda PEG 6000 uygulanması klorofil içeriğini (SPAD okuması) kontrole kıyasla önemli ölçüde düşmüştür ($P<0.05$). SPAD ölçer, yaprakların yeşilliğini veya bağıl klorofil içeriğini ölçmektedir. Test edilen genotiplerden en yüksek SPAD değeri 120.7 ile ERU166, en düşük değer ise 34.5 ile ERU033 genotipinden elde edilmiştir. Kontrole kıyasla PEG 6000 uygulamalarındaki SPAD değerleri daha düşük bulunmuştur. Bulgularımızın aksine yapılan birçok araştırma kuraklığın SPAD

değerlerini düşürdüğünü göstermiştir (Mosenda ve ark. 2020; Xue, 2003). Minolta SPAD 502, ışık geçirgenliği ve emiliminin miktarını kolay ve tahribatsız bir şekilde ölçerek çok çeşitli yaprak klorofil ve azot tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır (Hawkins ve ark, 2009; Boegh ve ark, 2012). Ancak yürütülen bu çalışmada genotiplerin kurağa tolerans durumlarının belirlenmesinde klorofil ve azot tahminde olduğu gibi belirgin sonuçlar vermediği görülmüştür.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Şeker pancarında çok sayıda genotipin kurağa dayanıklılık durumlarının hızlı bir şekilde taranmasında hidroponi ve saksı kültürü çalışmaları benzer sonuçlar vermiştir. Her iki çalışmada da ERU015, ERU191, ERU081, ERU117 ve ERU093 şeker pancarı genotipleri kurağa dayanıklı olarak belirlenmiş. Test edilen çeşitlerden Serenada çeşiti kurağa orta düzeyde dayanıklı çeşit olarak belirlenmiştir. Kurağa dayanıklılığın belirlenmesinde SPAD ölçümlerinin çok etkin olmadığı görülmüştür. Su kültürü ve saksı kültürü çalışmalarında kurağa dayanıklı olarak belirlenen çeşitlerin tarla koşullarında kurağa dayanıklılık durumlarının belirlenmesi ileride yapılması gereken bir çalışma olduğu görülmüştür. ERU015, ERU191, ERU081, ERU117 ve ERU093 şeker pancarı genotipleri ıslah çalışmalarında kurağa dayanıklı şeker pancarı çeşitleri geliştirmek amaçlı kullanılma potansiyeli taşıdığı tespit edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

Boegh, E. E. Houborg, R. R. Bienkowski, J. J. Braban, C.F. C. Dalgaard, T. T. Remote sensing of LAI, chlorophyll and leaf nitrogen pools of crop and grasslands in five European landscapes. Biogeosciences, 2013, 10: 6279-6307.

Hawkins T.S., Gardiner E.S., and Comer G.S. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. J. Nat. Conserv. 17: 123–127. 2009.

Hohmann, U., Jacobs, G., and Jung, C. An EMS mutagenesis protocol for sugar beet and isolation of non-bolting mutants. *Plant Breeding*, *124*(4), 317–321, 2005

Hoagland, D.R., Arnon, D.I. The water-culture method for growing plants without soil. Circular. California Agricultural Experiment Station, 347 (2nd edit), 1950.

Inada, K. Studies on a method for determining the deepness of green color and chlorophyll content of Intact Crop Leaves and Its Practical Applications Principles for Estimating the

Deepness of Green Color and Chlorophyll Content of Whole Leaves. Proc. Crop. Soc, 32:157-162, 1963.

Islam, M. J., Kim, J. W., Begum, M. K., Sohel, M. A. T., and Lim, Y.-S. Physiological and biochemical changes in sugar beet seedlings to confer stress adaptability under drought condition. *Plants*, *9*(11), 1511, 2020.

Jones, P.D., Lister, D.H., Jaggard, K.W., Pidgeon, J.D. Future climate change impact on the productivity of sugar beet (*Beta vulga*ris L.). Eur Clim Change, 58: 93–108, 2003.

Kirigwi, F.M., Van Ginkel, M., Trethowan, R., Sears, R.G., Rajaram, S. Paulsen G.M. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. Euphytica, 135: 361-371, 2004.

Kockelmann, A., Tilcher, R., Fischer, U. Seed production and processing. Sugar Tech 2010, 12, 267–275, 2010.

Li, T., Luo, K., Wang, C., Wu, L., Pan, J., Wang, M., Liu, J., Li, Y., Yao, J., & Chen, W.. GhCKX14 responding to drought stress by modulating antioxi-dative enzyme activity in *Gossypium hirsutum* compared to CKX family genes. *BMC Plant Biology*, *23*(1), 409, 2023b.

Liang, N., Cheng, D., Liu, Q., Cui, J., & Luo, C. Difference of proteomics vernalization-induced in bolting and flowering transitions of *Beta vulgaris*. *Plant Physiology and Biochemistry*, *123*, 222–232, 2018.

Liu, Z., You, J., Zhao, P., Wang, X., Sun, S., Wang, X., Gu, S., & Xu, Q. Metabolomics Profiling and Advanced Methodologies for Wheat Stress Research. *Metabolites*, *15*(2), 123, 2025.

Misra, V., Srivastava, S., & Mall, A. K. *Sugar beet cultivation, management and processing*. Springer, 2022.

Mosenda, E., Chemining, G., Ambuko, J. and Owino, W. Effect of Water Stress on Growth and Yield of Selected Spider Plant Accessions. 2020. file:///C:/Users/user/Downloads/jmap-1816-mosenda.pdf

Ober, E.S. (2001). The search for drought tolerance in sugar beet. Brit Sugar Beet Rev., 69: 40–43. Sadeghian SY., Fazli H., Mohammadian R., Taleghani DF., Mesbah M. Genetic variation for drought stress in sugar beet. J Sugar Beet Res., 37: 55–77, 2000.

Pidgeon, J,D., Werker AR., Jaggard, K.W., Richter G.M., Lister D.H., Jones P.D. Climatic impact on the productivity of sugar beet (Beta vulgaris L.) in Europe (1961-1995). Agr Forest Meteorol., 109:27–37, 2001

Ribaut, J.M., Jiang, C., Gonzalez-De-Leon, D., Edmeades, G.O., Hoisington, D.A. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize: 2. Yield components and marker-assisted selection strategies. Theor Appl Genet., 94: 887-896, 1997

Wu, G.-Q., Liu, Z.-X., Xie, L.-L., & Wang, J.-L. (Genome-wide identification and expression analysis of the BvSnRK2 genes family in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under salt conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, *40*(2), 519–532, 2021.

Xue, Q. Root growth and water uptake in winter wheat under deficit irrigation. Plant and Soil 257.1: 151-161, 2003.

Yolcu, S., Alavilli, H., Ganesh, P., Panigrahy, M., & Song, K. Salt and drought stress responses in cultivated beets (*Beta vulgaris* L.) and wild beet (*Beta maritima* L.). *Plants*, *10*(9), 1843, 2021.

Zou, C.-L., Guo, Z., Zhao, S., Chen, J., & Zhang, C. Identification and functional prediction of sugar beet circRNAs involved in drought responses. *BioRxiv*, 2008–2022, 2022

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADVERSE EVENT SIGNAL DETECTION IN ANTI-OBESITY DRUGS USING MACHINE LEARNING AND SHAP-BASED EXPLAINABILITY: A MULTIVARIATE PHARMACOVIGILANCE APPROACH

Dr. Ahmet Turan DEMİR

Department of Biomaterials and Tissue Engineering, Institute of Graduate Studies, Tokat Gaziosmanpaşa University,

phddemirahmet@gmail.com - 0000-0002-3464-0466

ABSTRACT

The increasing intensity of pharmacotherapeutic management for the prevention of obesity has led to parallel interest in the various adverse events of these pharmaceutical treatments. In view of the multifaceted challenge involving these considerations, a multivariate machine learning model was developed that was capable of evaluating potential adverse events for commonly used anti-obesity drugs. Contrary to the exclusive reliance on the usual statistical analyses for these evaluations, model incorporated the various aspects of the different variables using the SHAP technique for interpretational purposes. For training the Random Forest deceloped model, established parameters for pharmaceutical surveillance such as PRR, ROR, EBGM, and the normalized combined score were utilized and expanded by the inclusion of reporting context variables such as the count, event_total, drug_total, and drug classes of medication reports. High discriminatory ability (AUC = 0.93) was obtained with the model for the evaluation of the anti-obesity drugs examined for potential adverse events. According to the SHAP evaluation obtained from the model's training process, PRR and ROR were identified as the principal parameters utilized for the model's evaluation and prediction but were followed by the count and the drug_total parameter that presented a pivotal role for differentiating actual signals from the noise category for these potential adverse events. In the case of commonly optimistically prescribed anti-obesity pharmaceuticals such as semaglutide, liraglutide, orlistat, naltrexone and bupropion, and phentermine and topiramate therapies examined for potential adverse events using the aforementioned model, the side-effect profiles obtained were parallel and consistent with that of the established clinical evidence for these therapies' potential adverse events.

Keywords: anti-obesity drugs, pharmacovigilance, machine learning, SHAP, signal detection, adverse events

1. INTRODUCTION

Obesity stems from several causes; as a result, medicines usually affect more than one part of the body at once. Because bodily systems connect with processes tied to energy use, weight-loss drugs frequently lead to varied unwanted reactions - some predictable, others surprising (1,2). Today’s options act differently: GLP-1 activators like semaglutide, liraglutide, or tirzepatide; orlistat, which stops dietary fat uptake; naltrexone, altering brain signals linked to

pleasure; bupropion, influencing neurotransmitters related to mood and alertness; along with phentermine, resembling stimulants. Every safety class has unique risks that affect the gastrointestinal, neurophysiological, cardioregulatory, and biochemical milieu uniquely (3,4). Tracking the varied risks is currently accomplished through voluntary reporting, primarily through the FDA's FAERS system, the pharmacovigilance system used extensively in the field. However, the value of these methods has long been realized to have flaws, including the possible lack of critical information, association with media reporting, and irregular reporting rates. Additionally, the usual statistical analysis has been the analysis of individual variables, not suited to the analysis of multifactorial effects, as are commonly found in actual safety reporting of pharmaceutical agents in the field (5,6). Thus, there has been considerable attention devoted to incorporating machine learning into interpretable AI models that are suited to multiple variables and maintain the interpretability of the outcomes (7,8).

The study advances prior work by creating a multivariate ML model centered on anti-obesity drugs, while using SHAP methods to examine decision logic. In addition to modeling, historical side effect records and population risk patterns were incorporated - helping improve practical medical value. Primary aims included assessing predictive performance, together with verifying whether the system's outputs reflect established pharmacological profiles.

2. METHODS

2.1. Dataset and Feature Construction

This study used safety incident reports from the FDA's reporting system (FAERS), an open-access source often applied in drug monitoring research (9). Data by quarter came directly from the agency's online portal; details from DEMO, DRUG, REAC, and OUTC sections were merged into one analysis file. As none of the entries contained any identifying information and no traceable data from patients could be found, consideration by an ethics board was not required. Material from this database is approved by the relevant agency for research purposes. Each drug-event pair represented various variables for data analysis, including the number of associations between drug and event (count), the number of reports for the drug regardless of the number of events (drug_total), and the number of reports for the event regardless of the drug (event_total). In addition to these simple counts, PRR, ROR, EBGM, and a normalized measure were calculated. The drugs were grouped by class: GLP-1 Receptor Agonists, NDRIs, lipase inhibitors, and stimulants. These factors combined allowed the model to call on standard methods of detection as well as additional context beyond those methods.

2.2. Preliminary Analyses for Anti-Obesity Drugs

Before embarking on the construction of the model, preliminary analyses were performed on trends of early adverse events occurring in weight-loss drugs. Data showed differing risk patterns within classes of drugs. The semaglutide medication primarily showed effects that were. The liraglutide medication also had digestive effects and influenced appetite regulation. Meanwhile, orlistat primarily showed specific intestinal malaise-related from fat malabsorption. The naltrexone/bupropion studies primarily demonstrated central nervous system-related. The phentermine/topiramate studies also primarily linked to complaints within the nervous system. The frequency analysis reinforced these trends and allowed inter-

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

medication comparisons as well. The analysis of proportional reporting rates offered additional perspective. Data visualization included several graphs showing the essential trends. Relevant data on these trends is included in the section on "Adverse Event Profiles Specific to Anti-Obesity Drugs."

2.3. Model Development

A Random Forest model was chosen based on its ability to handle non-linear relationships between the various features. A split of 80:20 was used to divide the data into the training and testing sets. Evaluation of the model used the ROC curve and the AUC measure. Hyperparameter optimization was used in the process.

2.4. Model Performance Evaluation

The performance of each model has been compared using conventional disproportionality analysis metrics, namely PRR, ROR, and EBGM, with machine learning models: Logistic Regression and Random Forest. The prediction results were employed to calculate both the true positive rate and the false positive rate. A potential advantage of using this study for comparison is that a wide range of decision points can be considered. The performance comparison will mainly focus on AUC.

3. RESULTS and EVALUATION

3.1. Model Performance

The performance of different signal detection methods differed significantly. The traditional method, EBGM, which is a proportionality method, produced an AUC value of 0.84, whereas PRR and ROR performed slightly better with AUC values close to 0.898. The above values were taken as a standard for judging the performance of machine-learning models. In the ML model combination, the AUC value for Logistic Regression was 0.882, although Random Forest outperformed and showed a high AUC value of 0.934. This data is depicted in Figure 1 above; as can be noted, despite being a ROC curve, its plot is well above the diagonal line, which represents high capacity for distinguishing between expected and unexpected adverse events. The AUC value close to 0.93 also shows adequate discrimination for distinguishing between a positive and a negative result by this model.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

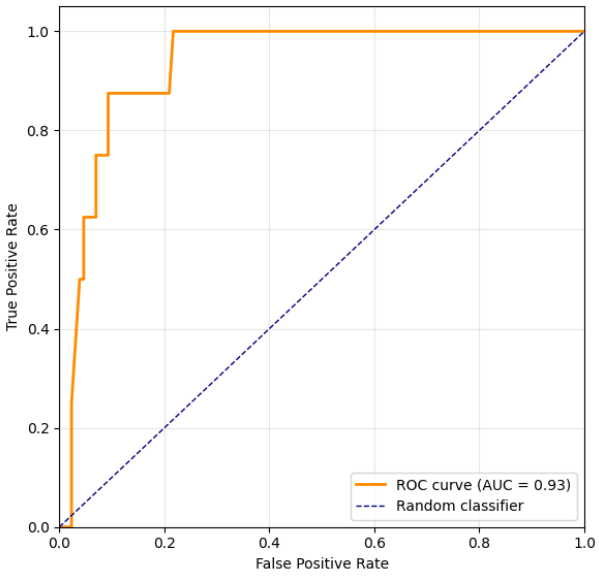


Figure 1. ROC/AUC curve

3.2. SHAP Summary Plot

To analyze the model's decision-making process, the values of SHAP were taken into consideration. As seen in Figure 2, the key contributors to the decision-making process emerged as PRR and ROR, as seen in the classical signal detection process. EBGM with the scaled value had a lesser effect. The event_total served as the moderator to reduce the effect of frequently reported events, as otherwise, they may create an imbalance in the spontaneous reporting data. This made the drug classes like GLP-1 agonists/sympathomimetics stand out in terms of their patterns, as they introduced group signals that improved the interpretive process of the model.

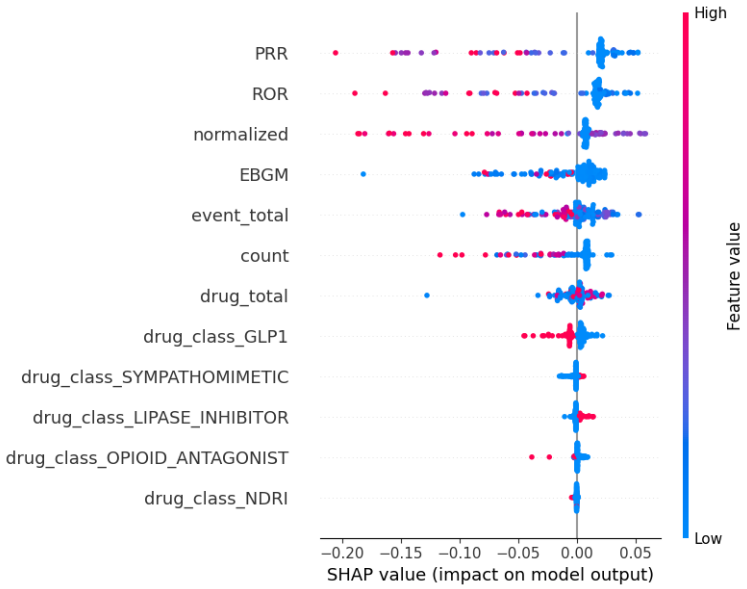


Figure 2. SHAP summary plot

3.3. SHAP Interaction Plot

SHAP interaction plots helped explain how the model combined relationships between features. A key interaction emphasized in figure 3 was count × drug_total. In regard to this interaction,

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

a drug and event pair where there was a high frequency and low drug count was associated with stronger signal scores, and a drug with many reports and less to do with a particular event was associated with reduced signals. Both of these correspond to principles involved in disproportionality analysis.

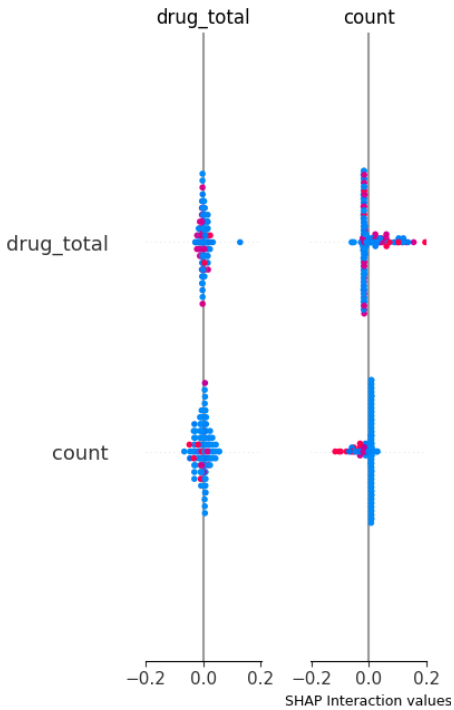


Figure 3. SHAP Interaction Plot

3.4. Model Output Scatter Plot

Figure 4 shows a scatter graph correlating signal probability predictions with count and drug_total. A blue-to-red progressive color scheme shows that a higher number of occurrences is likely to increase predictions of signal likelihoods, specially where drug_total is below average. The variability is consistent with what is seen in interactive trends in SHAP analysis, where points representing conspicuous high reports show predictions of abnormal patterns rather than relying on a count.

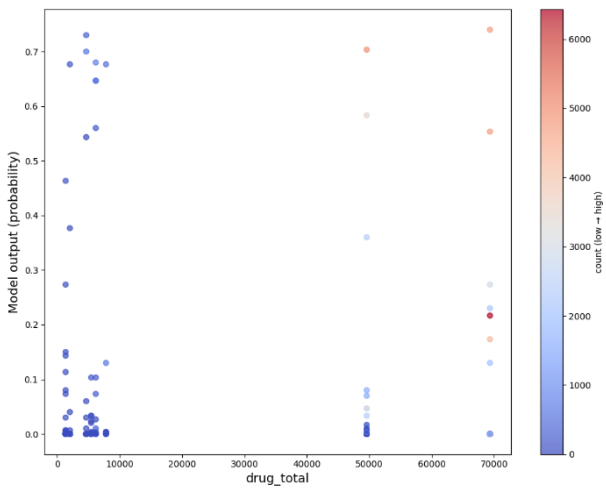


Figure 4. Model Output Scatter Plot

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3.5. Adverse Event Profiles for Anti-Obesity Drugs

Adverse event profiles for the drugs also supported the results obtained from the results. Starting with Semaglutide, key gastrointestinal symptoms (nausea, vomiting, diarrhea) were most common (Figure 5), supporting established medical experience and past studies conducted on GLP-1.

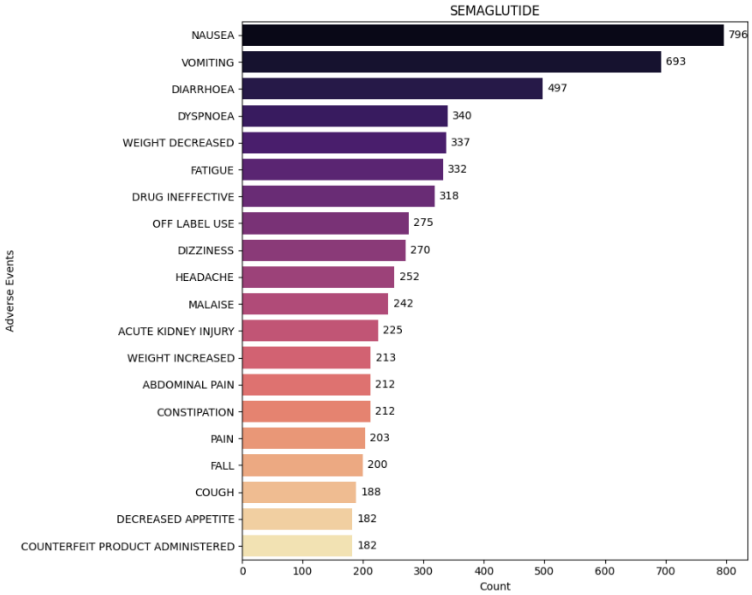


Figure 5. Adverse event distribution for semaglutide

Similar results for gastrointestinal symptoms, with prominent appetite-related symptoms occurring reasonably frequently, were also seen with liraglutide (Figure 6).

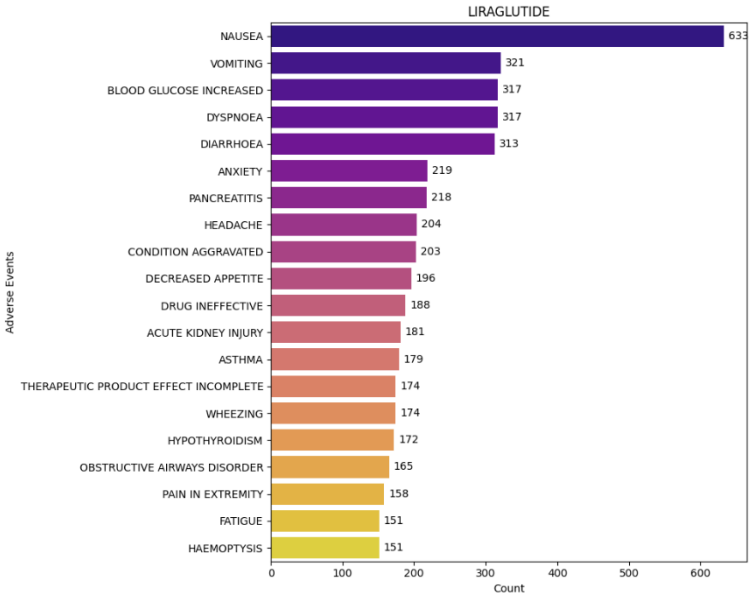


Figure 6. Adverse event distribution for liraglutide

The adverse event profile of orlistat was driven by the gastrointestinal manifestations related to the mechanisms of fat malabsorption (Figure 7).

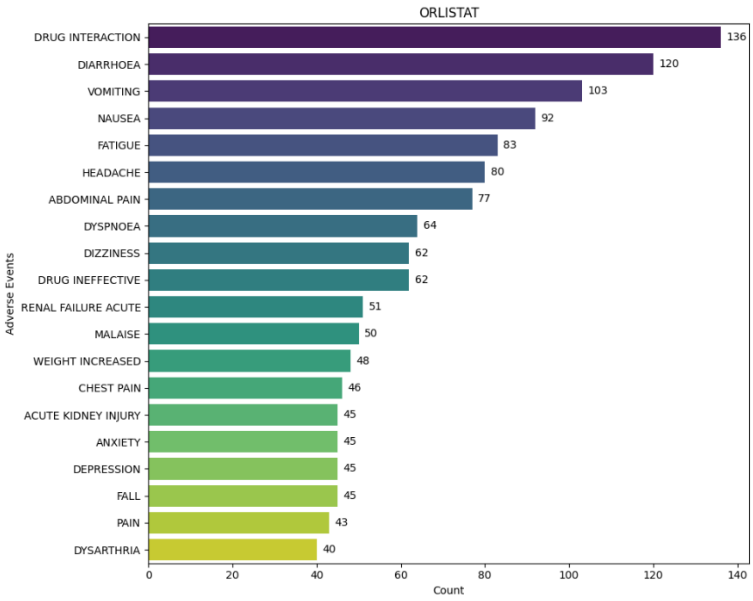


Figure 7. Adverse event distribution for orlistat

The spectrum of the naltrexone-bupropion combination was heterogeneous with central nervous system symptoms reported alongside gastrointestinal discomfort (Figure 8).

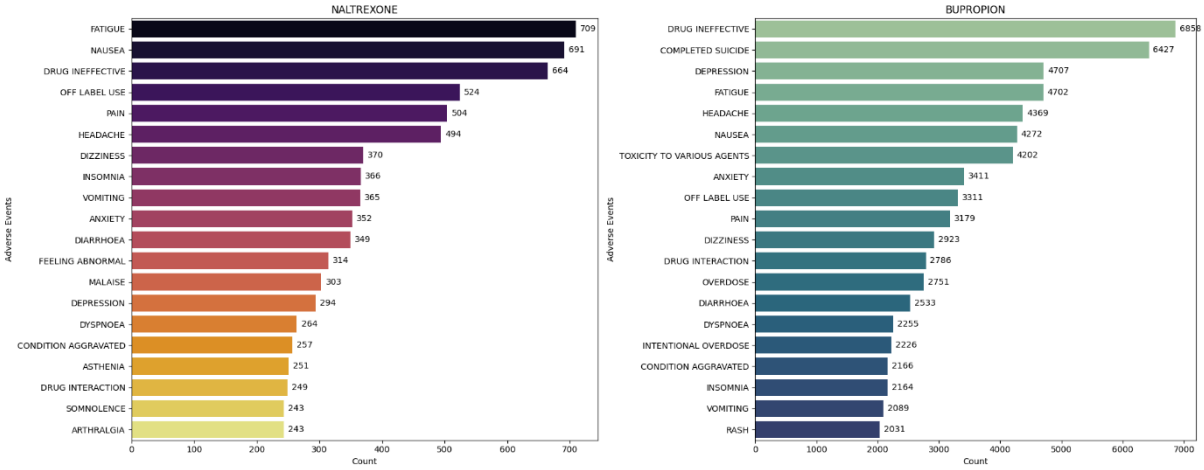
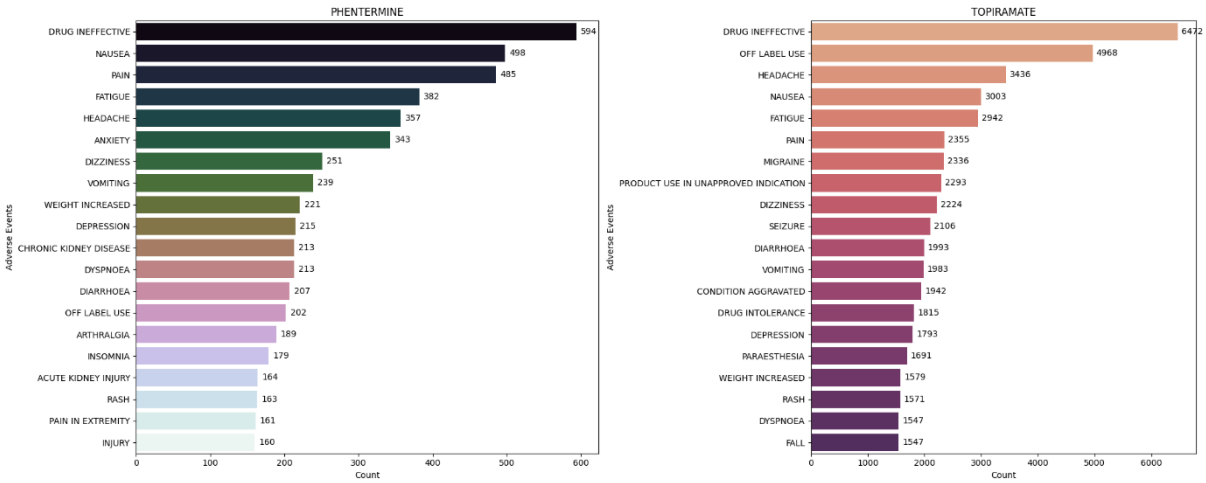


Figure 8. Adverse event distribution for naltrexone/bupropion

Phentermine-topiramate most closely related to symptoms of the nervous system, including headache, dizziness, or migraines (Figure 9). A common finding in this group of medications is the perception of decreased efficacy.



ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Figure 9. Adverse event distribution for phentermine/topiramate

Figure 10 shows the volume of adverse event reports for each drug category. Although bupropion and topiramate yielded the most data, other drugs such as tirzepatide and orlistat presented fewer instances; yet, they presented meaningful data. However, low case numbers prevent arriving at firm conclusions for the aforementioned drugs.

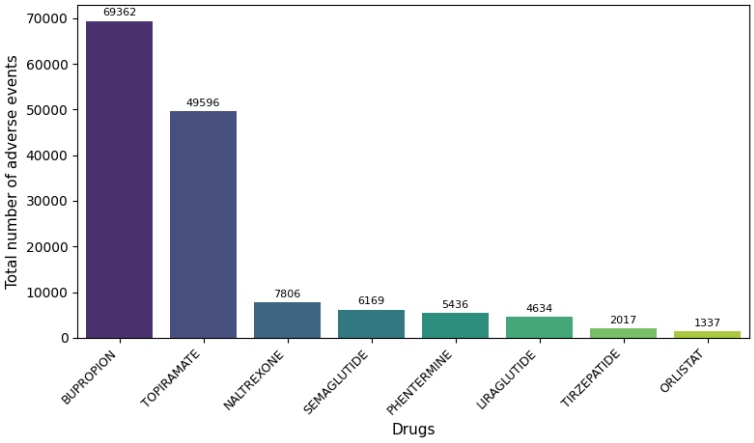


Figure 10. Total adverse event burden by drugs

4. DISCUSSION and CONCLUSION

The results show that a multivariate machine learning method could improve signal detection for adverse event reports and help to understand safety trend patterns related to weight-loss drugs more meaningfully. Though there were a large number of variables fed into the algorithm, more traditional methods of disproportionality, such as PRR and ROR, remained highly relevant, which is a testament to their established utility in pharmacovigilance. The SHAP results helped to elucidate how the process worked at a code level, with the interaction term for count_drug_total being highly informative for determining signal probabilities. This was a logical expectation, seeing how a drug-event pair that was more often than not expected when looking at a drug overall could indicate a problem with drug safety. Drug-specific patterns of side effects confirmed the results logically, with semaglutide and liraglutide being the drugs that most often indicated gastrointestinal symptoms, orlistat showing symptoms related to problems with fat absorption, the complex drug naltrexone/bupropion having implications for neuropsychiatric and gastrointestinal side effects, and phentermine/topiramate being a drug that indicated associated impacts with the central nervous system.

5. LIMITATIONS of THE STUDY

However, there are caveats associated with these results. First, the data are limited exclusively to the FAERS, a non-mandatory system prone to various biases. Among these, data can be missing or incomplete, occurring with some regularity. In addition, there can be a time delay in reporting. Finally, other outside factors can influence the results, including publicity or changes in medical practice. While underreporting occurs regularly, all these factors can affect trends. A further problem associated with the results is the lack of clinical information. This can include information on the dose level, the time period over which the drug is used, the reason for its prescription, or other medication used by the patient. This lack of information raises questions about trends for certain adverse events. Though the SHAP interaction results can help explain the nature of the modeling results, there are certain methodological concerns associated with these results. Among these is the dependency on the specific structure used by the model. This can affect cross-model or cross-data reliability. However, these methodological points are not issues associated with data quality. A further aspect of these results is not knowing the nature

of the data point associations found. While these relationships portend connections, these connections must be studied by further experimentation or data observation. Finally, like other methods involving decision trees, the Random Forest Model method does not provide information regarding the mechanisms by which particular results are arrived at.

6. RECOMMENDATIONS for FUTURE STUDIES

Despite the valuable insights offered in this study, there remains room for future research. Future studies could assess the applicability of this approach to other pharmacovigilance reports like VigiBase or EudraVigilance with different reporting patterns and data sets. The inclusion of additional clinical data like dosages, duration of treatment, comorbidities, and concomitant medications could provide a deeper perspective into the dynamics of adverse events. The lack of time-series data in the FAERS database could provide a means for analyzing data-driven temporal dynamics to differentiate between stable risks and peak reporting events. A potential limitation in SHAP interaction interpretability could be its stability with respect to datasets and model settings. Any conclusions or suggestions based on this study should always incorporate external validation and the expert perspective necessary for determining which alerts should go to the regulator for clinical attention.

7. REFERENCES

1. Krentz, A.J., Fujioka, K., & Hompesch, M. Evolution of pharmacological obesity treatments: focus on adverse side-effect profiles. Diabetes, Obesity and Metabolism, 2016, 18(6), 558-570.

2. Drolet, B., Simard, C., & Poirier, P. Impact of weight-loss medications on the cardiovascular system: focus on current and future anti-obesity drugs. American journal of cardiovascular drugs, 2007, 7(4), 273-288.

3. Vosoughi, K., Atieh, J., Khanna, L., Khoshbin, K., Prokop, L.J., Davitkov, P., ... & Camilleri, M. Association of glucagon-like peptide 1 analogs and agonists administered for obesity with weight loss and adverse events: a systematic review and network meta-analysis. *EClinicalMedicine*, 2021, 42.

4. Yang, Q., Wang, J., Wang, M., Zhang, S., & He, Q.Q. Stratified analysis of the association between anti-obesity medications and digestive adverse events: a real-world study based on the FDA adverse event reporting system database. BMC Pharmacology and Toxicology,2024, 25(1), 64.

5. Kim, T.H., Lee, K., Park, S., Oh, J., Park, J., Jo, H., ... & Yon, D.K. Adverse drug reaction patterns of GLP-1 receptor agonists approved for obesity treatment: Disproportionality analysis from global pharmacovigilance database. Diabetes, Obesity and Metabolism, 2025, 27(6), 3490-3502.

6. McIntyre, R.S., Mansur, R.B., Rosenblat, J.D., & Kwan, A.T. The association between glucagon-like peptide-1 receptor agonists (GLP-1 RAs) and suicidality: reports to the Food and Drug Administration Adverse Event Reporting System (FAERS). Expert opinion on drug safety, 2024, 23(1), 47-55.

7. Lee, C.Y., & Chen, Y.P.P. Machine learning on adverse drug reactions for pharmacovigilance. Drug discovery today, 2019, 24(7), 1332-1343.

8. Kompa, B., Hakim, J.B., Palepu, A., Kompa, K.G., Smith, M., Bain, P.A., ... & Beam, A.L. Artificial intelligence based on machine learning in pharmacovigilance: a scoping review. Drug Safety, 2022, 45(5), 477-491.

9. FDA Adverse Event Reporting System (FAERS) Public Dashboard. https://www.fda.gov/drugs/fdas-adverse-event-reporting-system-faers/fda-adverse-event-reporting-system-faers-public-dashboard. Available at: 12.12.2025.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INTEGRATED COMPARATIVE METABOLITE PROFILING of GLP-1 RECEPTOR AGONISTS USING Δm, m/z, and STRUCTURAL SIMILARITY ANALYSES: AN ANALYTICAL CHEMISTRY APPROACH OF PHARMACEUTICAL RELEVANCE

Dr. Ahmet Turan DEMİR

Department of Biomaterials and Tissue Engineering, Institute of Graduate Studies, Tokat Gaziosmanpaşa University,

phddemirahmet@gmail.com - 0000-0002-3464-0466

ABSTRACT

In view of the increasing application and relevance of GLP-1 receptor agonist drugs for the treatment of type 2 diabetes and obesity, the focus on the metabolite analysis of these drugs is gaining significant prominence. This study comparatively investigated the metabolic transformations of GLP-1 receptor agonist drugs Semaglutide, Liraglutide, and Tirzepatide using a combined technique of Δm values, m/z values, and similarity analysis. In this context, the study yields pharmaceutical relevance by providing quantitative analyses on the spectral influences of various modifications. In terms of methodology, the theoretical modification profiles of the three compounds were investigated for the five major types of metabolites (M, M+O, M+2O, M-H2O, M+deamidation). The Δm values were calculated, m/z distribution data were obtained, and similarity scores were calculated from matrix results. The results showed that for all three compounds, the Δm increases due to oxidation were +18.01 Da and +36.02 Da for M+O and M+2O respectively. There was a shift of −20.03 Da due to dehydration and +0.98 Da due to deamidation. On m/z distribution analysis, Tirzepatide had the largest range (approximately 2396-2424 Da), while Liraglutide had the lowest range (approximately 1865-1893 Da). On similarity scores, Semaglutide-Liraglutide had the highest score of 0.78. Liraglutide-Tirzepatide had 0.72 while Semaglutide-Tirzepatide was lowest at 0.65. Based on the RT information, the retention time increased from 11.8 to 14.0 minutes proportionate to the increase in Δm. This research combines various parameters of analytical chemistry into one framework to enable quantitative assessment of GLP-1 agonists metabolites.

Keywords: GLP-1 receptor agonists, Metabolite profiling, Δm mass shift analysis, m/z spectral distribution, Structural similarity matrix, Oxidative and non-oxidative modifications

1. INTRODUCTION

GLP-1 receptor agonists have proved to be a prominent therapeutic category owing to their therapeutic efficacy in the treatment of type 2 diabetes and obesity. Peptide-based GLP-1 analogs like semaglutide, liraglutide, and tirzepatide are widely prescribed in the treatment of type 2 diabetes in various populations owing to their efficacies in the management of glycemia and appetite as well as beneficial effects on the risk factors of cardiovascular risks (1,2). The wide range of applications of GLP-1 analogs in a very short period of time has intensified the

need in pharmaceutical quality control and the characterization of metabolic stability (3). The pharmacokinetic properties, bioavailability, and metabolic stability of GLP-1 analogs are mostly dependent on their composition and metabolites (4). Thus, the complete understanding of their metabolic transformation pathways holds pivotal importance in terms of their efficacy and safety.

The biodegradation of peptide-based drugs is mediated through small- scale chemical alterations like oxidation, dehydration (5), and deamidation, directly influencing the molecular weight (Δm), charge state, m/z ratio, and chromatographic properties, making their detection extremely difficult in the analysis. One research paper on an oral GLP-1 agonist, MEDI7219, demonstrated that the comprehensive characterization of GLP-1 analogs through the process of small modifications including oxidation is easy through the application of an LC-MS/MS technique (6). The characterization of GLP-1 agonists in the analytical process has traditionally relied on highly advanced fragmentation modes like HRMS, Collision Induced Dissociation (CID), and Electron Activated Dissociation (EAD) in their widely accessed mode of LC-MS/MS. One of the recent reviews has pointed out that the growing therapeutic and economic importance of GLP-1 analogs in the future even more emphasizes the importance of accuracy in analysis (7). Moreover, the sensitivity of the technique in this context is frequently emphasized in the pharmacokinetic studies of GLP-1 agonists (8).

Although there are studies in literature about the metabolites of GLP-1 agonists, there is apparently no thorough and all-inclusive effort that encompasses Δm values, m/z ratios, and similarity structure analysis simultaneously and quantitatively in a comparative framework for several medications. Current studies primarily focus either on studying the metabolites of a given substance or analyzing a particular method of analysis; there is a limited effort, however, in terms of methodological structure, for systematic comparative studies of Δm effects of different GLP-1 agonists. This could lead to uncertain analyses of GLP-1 agonists during pharmaceutical as well as quality control studies. The current research, therefore, attempts to fill this gap and carry out a comparative analysis of the three different GLP-1 agonists based on a multi-dimensional approach through computational modeling. Theoretical monoisotopic mass values calculated through Simplified Molecular Input Line Entry Specification formulas, Δm values of modifications, and charge-state dependent m/z ratios simultaneously incorporated and analyzed through similarity structure studies can refute or affirm the metabolism of each of these three different medications individually as well as comparatively. Such an approach can confer several benefits and simultaneously describe pharmaceutically meaningful properties of GLP-1 agonists in an interpretable and thus meaningful and coherent way. Therefore, this analysis can offer an all-inclusive and sound approach for evaluation and analysis purposes in both analytical and pharmaceutically related scientific studies.

2. METHODS

A multi-tier analysis approach was used in this research for a comparative analysis of the profiles of semaglutide (PubChem CID 56843331), liraglutide (PubChem CID 16134956), and tirzepatide (PubChem CID 156588324) based on the theoretical monoisotopic mass data derived from the SMILES string expressions used for modeling the concerned compounds, and the influences of chemical modifications and results from modeling studies. Trends representing the results of the data from the LC-MS/MS analysis, Δm, m/z, and RT, were computationally modeled and plotted based on the above results. A comparison of semaglutide,

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

liraglutide, and tirzepatide requires a body of data corresponding to Δm, m/z, and RT, and it includes the evaluation of data for the five predominant types of metabolites, such as M, M+O, M+2O, M-H_2O, and M+deamidation, for all three compounds.

First of all, the theoretical monoisotopic masses of the metabolites were calculated from their SMILES formulae, and the impact of modifications on the masses was investigated based on the Δm values. With the theoretical masses, modeling and m/z values for modifications were obtained for each modification type using computational adjustments made depending on the charge states. In this manner, Δm and m/z relationships and correlations for each type of metabolite could systematically be investigated.

In modeling and m/z analysis, theoretical RT values for each metabolite were obtained, and graphical analysis was made to investigate the Δm and RT relationships. The modifications like oxidation, dehydration, and deamidation were also categorized and frequency distributions for each modification type were created.

The structural similarities between the three drug molecules were investigated by Tanimoto similarities between their molecular fingerprints created using their SMILES formulae. The similarities were then scaled to a range of 0 to 1, and heatmap representations of the structural similarities between pairs of molecules were made. The heatmap representation and graphical analysis for Δm, m/z plots, modification plots, and integrated plots helped to ensure that the computational result outputs were consistent and meaningful to the analysis and understanding of the theoretical mass characteristics and modification impacts of GLP-1 agonists in a multidimensional computing environment.

3. RESULTS and EVALUATION

Comparison of the theoretical mass information obtained using the SMILES representations of semaglutide, liraglutide, and tirzepatide is provided on the basis of their Δm values, m/z distribution, structural similarity scores, and RT trends obtained using modeling. Every point is clarified with graphical representations of each computational analysis performed.

3.1. Δm Distribution According to Modifications

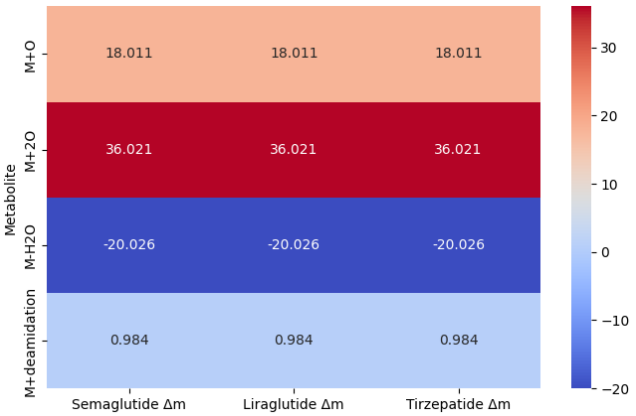


Figure 1. Δm Heatmap of Metabolic Modifications Across GLP-1 Receptor Agonists

The heatmap of Δm shows that each of the three drugs has very similar values of mass difference for the five major modifications. The similar differences of +18.01 Da for M+O, +36.02 Da for M+2O, -20.03 Da for M-H_2O, and +0.98 Da for M+deamidation among the three drugs indicate that the modifications calculated computationally have a structural basis, which

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

is not drug-specific. The uniform theoretical values of the modifications among the three drugs also confirm their chemical nature.

3.2. Charge-Resolved m/z Distribution of Metabolites

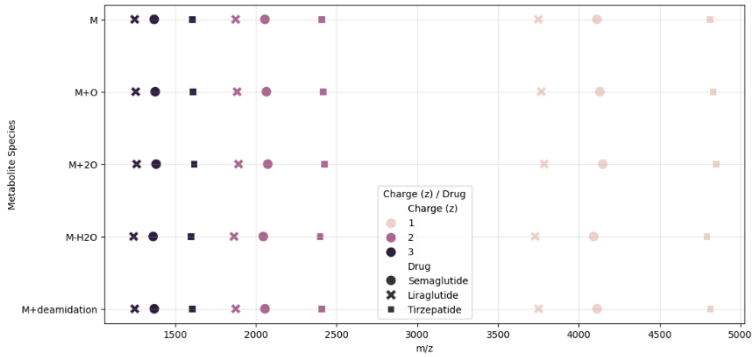


Figure 2. Charge-State Resolved m/z Distribution of GLP-1 Metabolites

A look at the theoretically calculated m/z distribution based on charge states (z = 1, 2, or 3) reveals that Tirzepatide has the largest m/z value among all its metabolites (2396-2424 Da). These variations can be attributed to the variations in the size of the peptides.

3.3. Neutral Mass Comparison of Metabolite Species

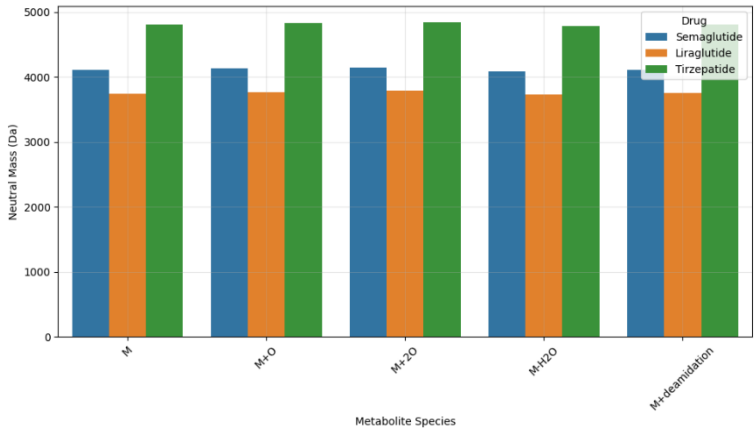


Figure 3. Neutral Mass Comparison of GLP 1 Metabolites Across Drug Profiles

The results for the neutral mass values clearly demonstrate the ordering of the drugs: Tirzepatide > Semaglutide > Liraglutide. This ordering remains consistent for all forms of modifications too. Moreover, the presence of Tirzepatide with the highest neutral mass values for both metabolites also emphasizes its larger size in terms of the peptide chain, with Semaglutide having the balanced properties of the reference molecule and Liraglutide having the lowest neutral masses due to its more compressed spectra.

3.4. m/z Distribution According to Charge State

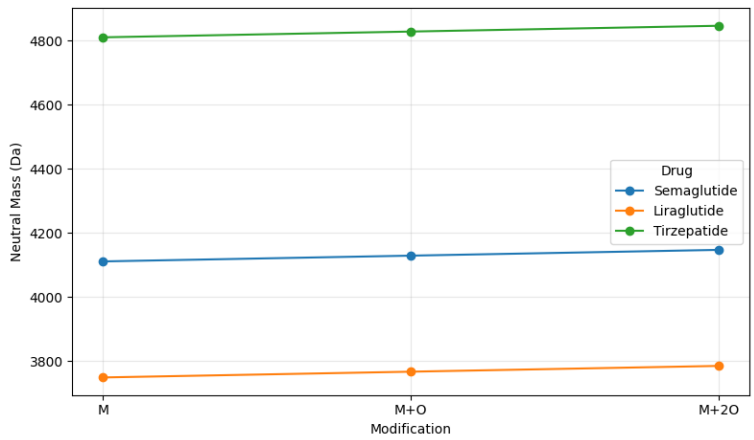


Figure 4. Neutral Mass Trends Across Oxidative Modifications in GLP-1 Metabolites

The increase in neutral mass for the transition M→M+O→M+2O occurred linearly with a +18 Da increase with each oxidation event.

3.5. The Δm Effect of Minor Modifications

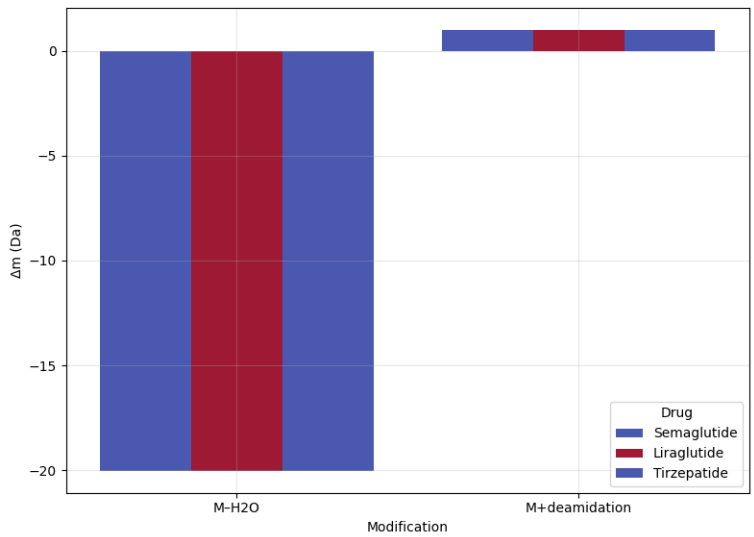


Figure 5. Δm Comparison of Dehydration and Deamidation Across GLP-1 Metabolites

Dehydration (M-H_2O) modification translates into a large, negative mass change of Δm=-20 Da, while deamidation (M+deamidation) modification translates into a minor positive mass change of Δm=+0.98 Da. Both Δm variations are modification-independent since they rely exclusively on modification chemistry.

3.6. Comparative Δm Spectrum of Metabolic Modifications

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

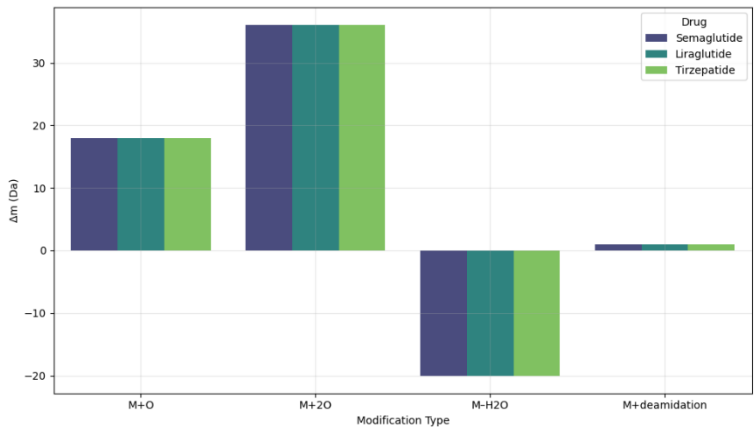


Figure 6. Comparative Δm Spectrum of GLP-1 Metabolites Across Modification Types

Analysis of the values of Δm calculated for each type of modification reveals that the M+2O modification has the largest Δm, and for M-H_2O, the Δm is negative.

3.7. Metabolite Family Mapping and Transformation Routes

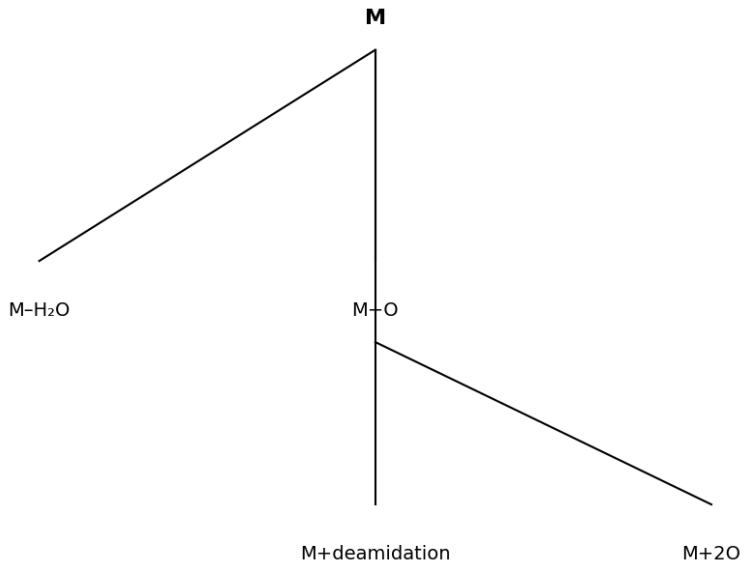


Figure 7. Metabolite Family Tree of GLP-1 Modifications

The transformation of the metabolite shown in the flow diagram is a demonstration of how the modification processes, branched and including oxygenation, dehydration, and deamidation of M, relate to the structure, where M+2O is a derivative of M+O.

3.8. Structural Similarity Mapping

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

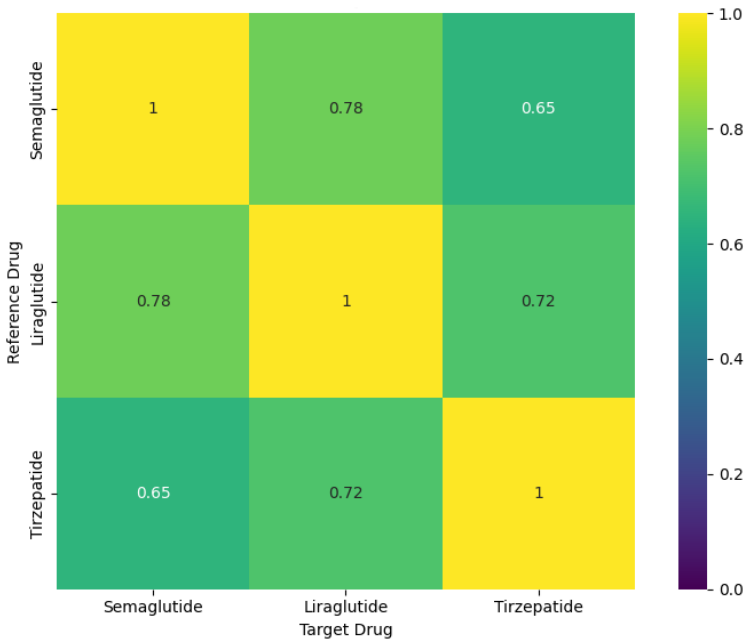


Figure 8. Structural Similarity Matrix of GLP-1 Receptor Agonists

The result of the calculation of the similarity score on the structure shows that semaglutide and liraglutide have the highest similarity score of 0.78, while tirzepatide has relatively distant similarity scores ranging from 0.65-0.72.

3.9. Charge-Normalized m/z Trends Across Metabolite Types

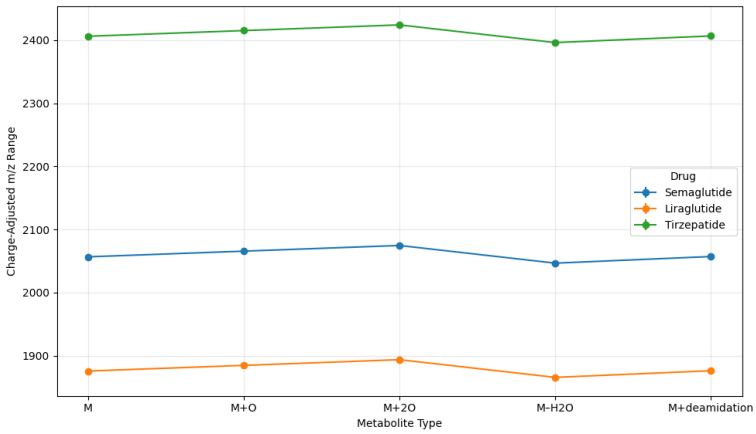


Figure 9. Charge-Adjusted m/z Trends of GLP-1 Metabolites Across Modification Types

Theoretical calculation m/z values for the different modification patterns show that there is always the following order amongst the three substances: Tirzepatide > semaglutide > liraglutide. Modification patterns involving oxidation always have a significant increase in m/z values.

3.10. Comparison of Δm and m/z Values

Table 1. Comparison of Δm and m/z Values in GLP-1 Metabolites

Metabolite	Δm (Da)	Semaglutide m/z	Liraglutide m/z	Tirzepatide m/z
M	0.0	2056.565	1875.4805	2406.2697

M+O	18.0106	2065.5702	1884.4858	2415.275
M+2O	36.0211	2074.5755	1893.4911	2424.2803
M-H_2O	-20.0262	2046.5519	1865.4674	2396.2566
M+deamidation	0.984	2057.057	1875.9725	2406.7617

The table below shows the Δm and m/z values for each type of modification side by side, serving as a numerical validation of the above graphs and a full representation of the results of computational modeling.

3.11. Relationship between Δm and Elution Time

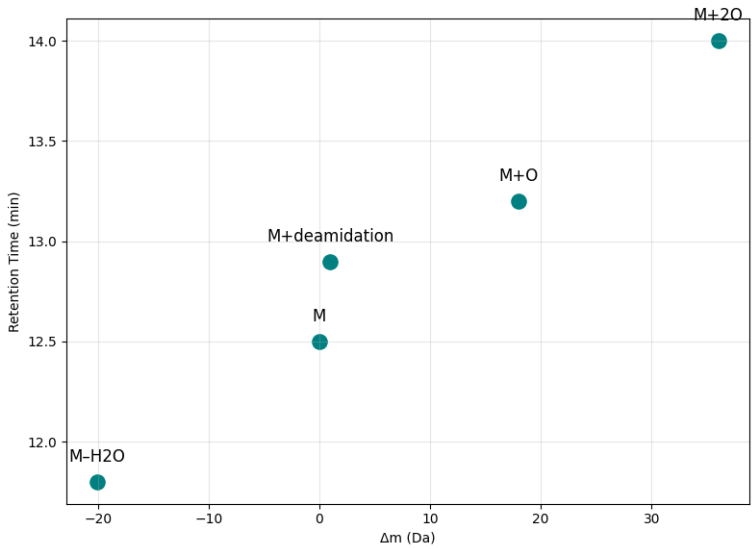


Figure 10. RT Trends Across Δm Modifications in GLP-1 Metabolites

As the Δm values increase, Retention Times or RT increase linearly (11.8–14.0 min). Dehydration has the earliest elution, due to the lowest Δm.

M-H_2O→ Δm=-20.0, RT≈11.8

M→ Δm=0.0, RT≈12.5

M+deamidation→ Δm≈+1.0, RT≈12.9

M+O→ Δm≈+18.0, RT≈13.3

M+2O→ Δm≈+36.0, RT≈14.0

The above data suggest that the column interaction increases as the molecule becomes more polar/hydrophobic.

3.12. Integrated Summary Panel

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

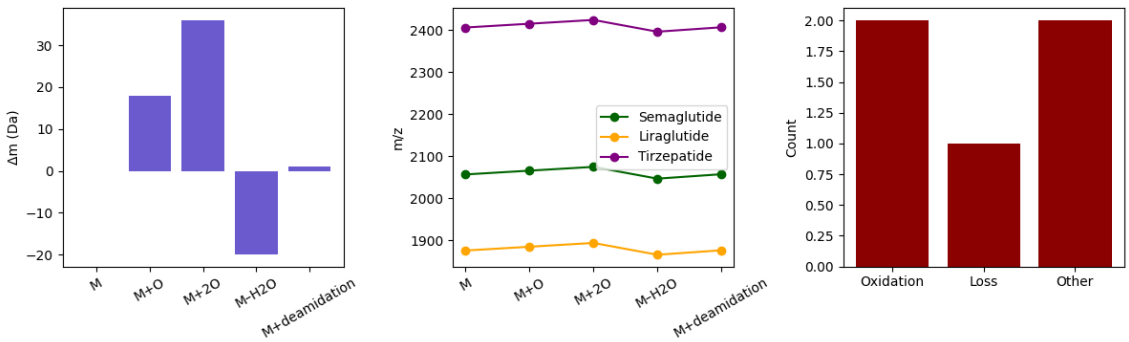


Figure 11. Integrated Summary Panel of GLP-1 Metabolite Modifications

The triptych display combines the Δm bar chart, the m/z line plot, and the modification category distribution display into a single display that encapsulates the whole modeling results profile.

M+2O→ highest Δm (+36 Da) → di-oxidation

M+O→ moderate Δm (+18 Da) → mono-oxidation

M-H_2O→ negative Δm (–20 Da) → dehydration

M+deamidation→ slight positive Δm (+0.98 Da)→ minor chemical rearrangement

In the left-hand panel, a broad view of Figure 6 is provided, with a m/z contrast that shows, together, the curves of semaglutide in green, liraglutide in orange, and tirzepatide in purple, allowing each drug to be examined individually in terms of m/z.

Tirzepatide→ highest m/z values→ larger peptide size

Liraglutide→ lowest m/z values→ more compact spectral profile

Semaglutide→ intermediate, balanced profile as a reference molecule

These results support the m/z values shown in Figure 9 and Table 1. The right side of the Metabolite Category Summary chart is broken down as shown below:

Oxidation: 2 metabolites (M+O, M+2O)

Loss: 1 metabolite (M-H_2O)

Other: 2 metabolites (M, M+deamidation)

This panel supports the mechanistic categorization system discussed in the tree figure 7 above.

4. DISCUSSION and CONCLUSION

The current work utilized a combined computing method for theoretical modification profiling of GLP-1 receptor agonist drugs semaglutide, liraglutide, and tirzepatide, utilizing Δm, m/z, and structure similarities, to offer a comparative analysis for mass-related properties related to these drugs. The results show that the masses and spectra for each type of modification are uniform and independent of the drug, but with discrepancies for the distribution of m/z values and structure similarities. The results for Δm show a linear increase in mass of +18.01 Da and +36.02 Da for all drugs for oxidation, with a negative value for dehydration at -20.03 Da, with a minor positive value of +0.98 Da for deamidation modification. The structural properties for all modifications are drug-independent, but drug properties depend on molecular size and structure. The results for m/z value distribution display a largest distribution for tirzepatide and a smallest distribution for liraglutide, related to the molecular size and mass variations, indicating a structural and pharmacological difference between the drugs. Regression analysis shows that there is a relation between increased times for drug elution and increased values of Δm, with high values for high oxidation modification type for drug properties. The structure similarities display high similarities of values around 0.78 between semaglutide and liraglutide,

but with low values of 0.65-0.72 for tirzepatide, which are in line with the differences of metabolite modification types, and confirm that dual agonism for Tirzepatide is drug-dependent and uniform. The work offers a precise computing technique for theoretical modification profiling related to GLP-1 receptor agonist drugs and a multi-parameter strategy for modification-dependent properties related to drug applications. The computing technique for analyzing modification effects for spectra has useful impacts related to analytical chemistry.

5. LIMITATIONS of THE STUDY

Despite the holistic computational paradigm based on Δm, m/z, and structure similarity analysis, certain methodological and data set limitations are to be noted. First, only five common modifications were addressed: Modification M, M+O, M+2O, M-H2O, and M+Deamidation. However, common to a GLP-1 agonist may be a set of modifications beyond these five; rarer modifications are not addressed here. Second, only theoretical mass calculations were used; while predictive models, these models lack complementary analyses such as NMR studies, FT-IR spectrum analyses, and empirical MS/MS fragmentation patterns to specifically localize the modifications within the polypeptide chain; rarer loci of oxidation and deamidation modifications are not particularly important here. Third, a similarity metric based solely on theoretical mass calculation following a chemical fingerprint approach ignored data sets having to do with biological function and mechanisms of binding and those related to in vivo actions; instead, a chemical similarity matrix results here. Fourth, aspects of RT were modeled based on a generic elution process; modifications due to stationary phase and eluents may apply to real situations here too. Finally, pharmacokinetic and clinical data were not used; further limiting the relationship between modifications and empirical measures here of both efficacy and toxicity.

6. RECOMMENDATIONS for FUTURE STUDIES

The current research presents a general framework that could be explored in future studies with several approaches aimed at improving the methodologies. Firstly, the exploration of five modification patterns and the analysis of MS/MS fragmentation could lead to the examination of low-abundance modification sites, including those of rare modification patterns, aimed at the validation of certain modification sites (e.g. oxidation and deamidation sites). Secondly, the analysis of experimental conditions in the context of chromatography (column type, composition of the mobile phase, gradients) could provide information on the validation of calculated relationships between RT values. Thirdly, an integrative analysis focusing on structure similarity—also considering results of kinetic binding properties and in vivo metabolic parameters with the aid of molecular dynamics simulations, docking simulations, and pharmacophore modeling—might provide the insight necessary to establish relationships between structure similarities and their properties. Fourthly, an investigation of modification patterns with respect to the pharmacokinetics in the human framework could provide information on the predictive effect that modification patterns have on parameters like bioavailability and metabolic stability. Finally, an n-dimensional framework like the one described in this research could similarly subject other peptide-related drugs to the comparative modification pattern analysis.

7. REFERENCES

1. Fisman, E. Z., & Tenenbaum, A. The dual glucose-dependent insulinotropic polypeptide (GIP) and glucagon-like peptide-1 (GLP-1) receptor agonist tirzepatide: a novel cardiometabolic therapeutic prospect. Cardiovascular diabetology, 2021, 20(1), 225.

2. Stefanou, M. I., Theodorou, A., Malhotra, K., Aguiar de Sousa, D., Katan, M., Palaiodimou, L., ... & Tsivgoulis, G. Risk of major adverse cardiovascular events and stroke associated with treatment with GLP-1 or the dual GIP/GLP-1 receptor agonist tirzepatide for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. European Stroke Journal, 2024, 9(3), 530-539.

3. Hach, M., Engelund, D. K., Mysling, S., Mogensen, J. E., Schelde, O., Haselmann, K. F., ... & Staby, A. Impact of manufacturing process and compounding on properties and quality of follow-On GLP-1 polypeptide drugs. Pharmaceutical Research, 2024, 41(10), 1991-2014.

4. Min, J. S., Jo, S. J., Lee, S., Kim, D. Y., Kim, D. H., Lee, C. B., & Bae, S. K. A Comprehensive Review on the Pharmacokinetics and Drug− Drug Interactions of Approved GLP-1 Receptor Agonists and a Dual GLP-1/GIP Receptor Agonist. Drug Design, Development and Therapy, 2025, 3509-3537.

5. Patel, S., Vyas, V. K., & Mehta, P. J. A review on forced degradation strategies to establish the stability of therapeutic peptide formulations. International Journal of Peptide Research and Therapeutics, 2023, 29(2), 22.

6. Kate Liu, Yue Huang, Taoqing Wang, Ruipeng Mu & Anton I. Rosenbaum. *In-vitro* metabolite identification for MEDI7219, an oral GLP-1 analog, using LC-MS/MS with CID and EAD approaches, Bioanalysis, 2025, 17:13, 881-888.

7. https://www.chromatographyonline.com/view/tools-and-techniques-for-glp-1-analysis. Available at: 10.12.2025.

8. Oh, H.S., Park, E.J., Lee, T.S., An, Y., Kim, T.H., Shin, S., Shin, B.S. Pharmacokinetics of Lixisenatide, a GLP-1 Receptor Agonist, Determined by a Novel Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry Analysis in Rats. Separations. 2023, 10(5):282.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND ANTI-OBESITY STUDIES OF 2-OXO-2H-CHROMEN-4-YL 4-FLUOROBENZENESULFONATE

Adem Korkmaz*

Faculty of Health Sciences, Muş Alparslan University, Muş,49250 Turkey

Corresponding Author: *e-mail: a.korkmaz@alparslan.edu.tr, *ORCID:0000-0002-0345-5794*

Abstract: The 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound was synthesized and its characterization was analyzed using ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, and HRMS spectra. According to the analysis results, it was observed that the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound was obtained in pure form. The pancreatic lipase inhibitory activity of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound in silico application was calculated using AutoDock Vina and Chimera software. The binding affinity of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate to pancreatic lipase enzyme (-10.0 kcal/mol) was observed to be better than that of orlistat (-7.1 kcal/mol), which is used as a standard. Furthermore, the absorption, distribution, metabolism, excretion, and toxicity characteristics of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate were calculated using preADMET analysis. Overall, this analysis indicated that 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate may be a potential pancreatic lipase inhibitor.

Keywords: 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate, pancreatic lipase, molecular docking, ADMET

INTRODUCTION

Chalcones are of interest to many researchers both because of their widespread presence in many natural compounds and because they possess biological properties [1-3]. Chalcone compounds have been studied by researchers because of their many biological activity properties [4-10]. In addition, sulfonate derivatives have also been reported by researchers to exhibit a wide range of biological activity properties [11-29]. In addition, chalcone-sulfonate hybrid compounds have been studied for various biological properties such as antibacterial [30, 31] and [33], and enzyme inhibition [34]. Enzymes catalyze important metabolic reactions for

the survival and function of cells. However, in cases of high enzyme activity, they can also cause metabolic disorders. Enzyme inhibition studies conducted by researchers have been studied as a treatment method to eliminate these disorders [35, 36].

Obesity is a metabolic disease that is becoming widespread globally. It results from excess fat accumulation in the body. Obesity is a growing threat to human health worldwide [37, 38]. Many studies have focused on the treatment of obesity in recent years. Researchers have indicated that pancreatic lipase inhibition is one of the well-known treatment methods for obesity. Pancreatic lipase is the main enzyme responsible for the digestion of glycerides and lipid absorption through the small intestine [39, 40]. Pancreatic lipase inhibitors have been tested by researchers [41, 42]. However, so far, orlistat is the standard drug used for the treatment of obesity [43].

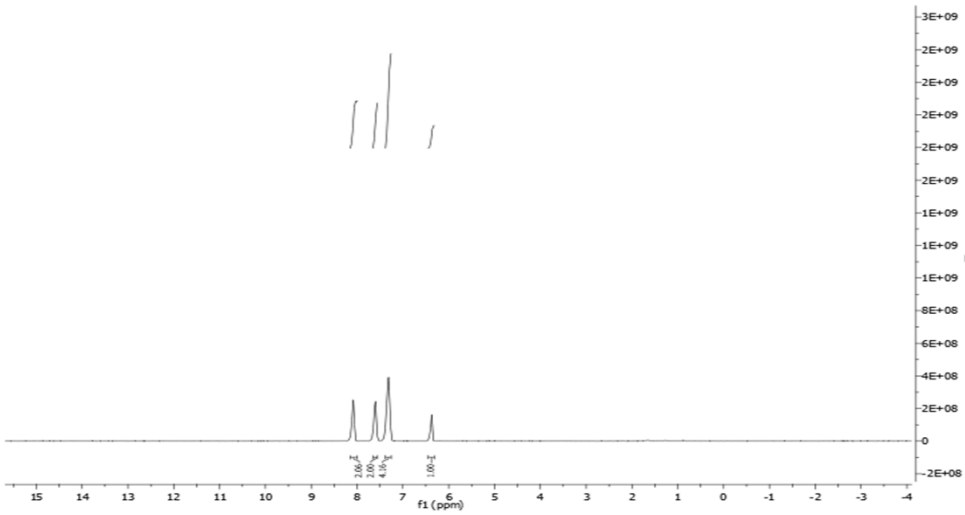
Therefore, the development of both effective and reliable drugs for obesity treatment is important. In our study, the effects of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate on pancreatic lipase enzyme activity were investigated using in silico methods. In addition, biological activity characteristics of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate, such as ADME and toxicity estimation, were calculated.

RESULTS AND DISCUSSION

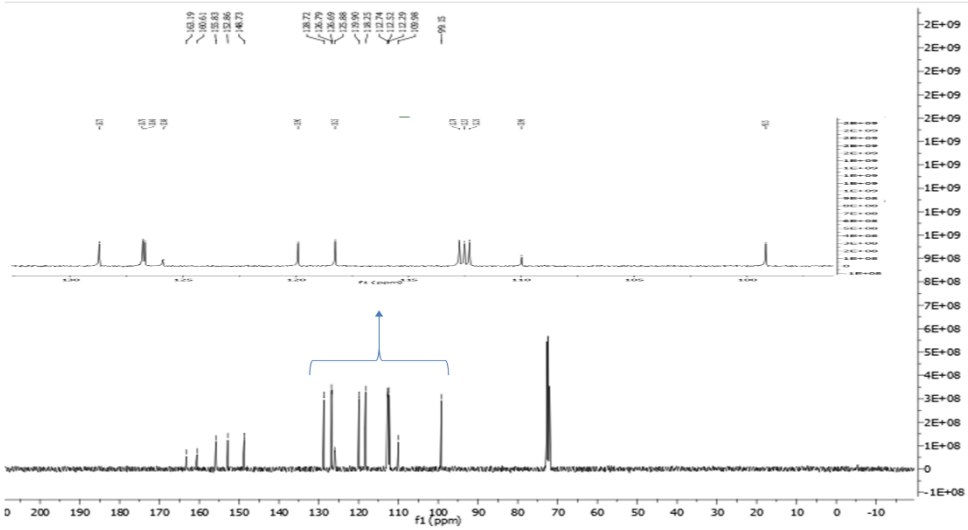
Chemistry

The obtained 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound was characterized using ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, and HRMS analyses (Figure 1). The 9 protons observed in the ^{1}H NMR spectrum of the target 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound were found to correspond to the expected 9 aromatic protons. The aromatic region of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound was observed to have concentrations of 0.15-7.89 (m, 2H, Ar-H), 7.66-7.55 (m, 2H, Ar-H), 7.38-7.25 (m, 4H, Ar-H), and 6.37 (s, 1H, Ar-H) ppm. According to the 13C NMR spectrum, the carbonyl carbon peak (-C=O) of the target compound was observed to be 160.6 ppm. The C-F coupling of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was observed at 163.1 ppm. The 14 aromatic carbon peaks of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound were observed as 155.8 (Ar-C), 152.8 (Ar-C), 148.7 (Ar-C), 128.7 (Ar-C), 126.7 (Ar-C), 126.6 (Ar-C), 125.8 (Ar-C), 119.9 (Ar-C), 118.2 (Ar-C), 112.7 (Ar-C), 112.5 (Ar-C), 112.2 (Ar-C), 109.9 (Ar-C), and 99.1 (Ar-C). Furthermore, the [M+H]+ mass values of the target 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate compound were observed to be consistent with the structure.

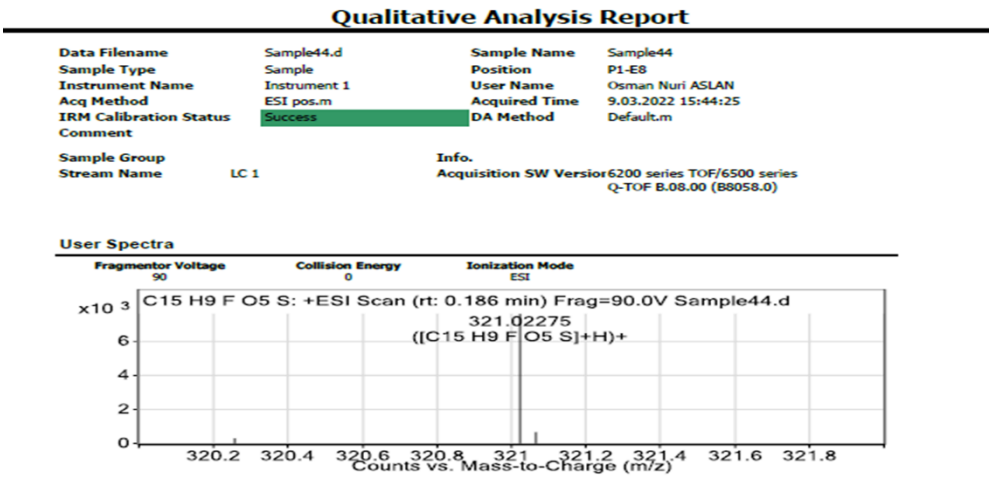
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



The ^{1}H NMR Spectrum ($CDCl_3$) of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate



The ^{13}C NMR Spectrum ($CDCl_3$) of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate



Q-TOF Spectrum of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate

Figure 1. ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, and HRMS spectrum of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

In Silico pancreatic lipase study with 2-okso-2H-kromen-4-il 4-florobenzensülfonate

The binding affinity value of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was investigated to determine its pancreatic lipase inhibition efficacy. The binding affinity of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate to pancreatic lipase enzyme was calculated as -10.0 kcal/mol (Table 1). The 2D structure and H-bond position of the pancreatic lipase inhibition binding affinity of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate are shown in Figure 2.

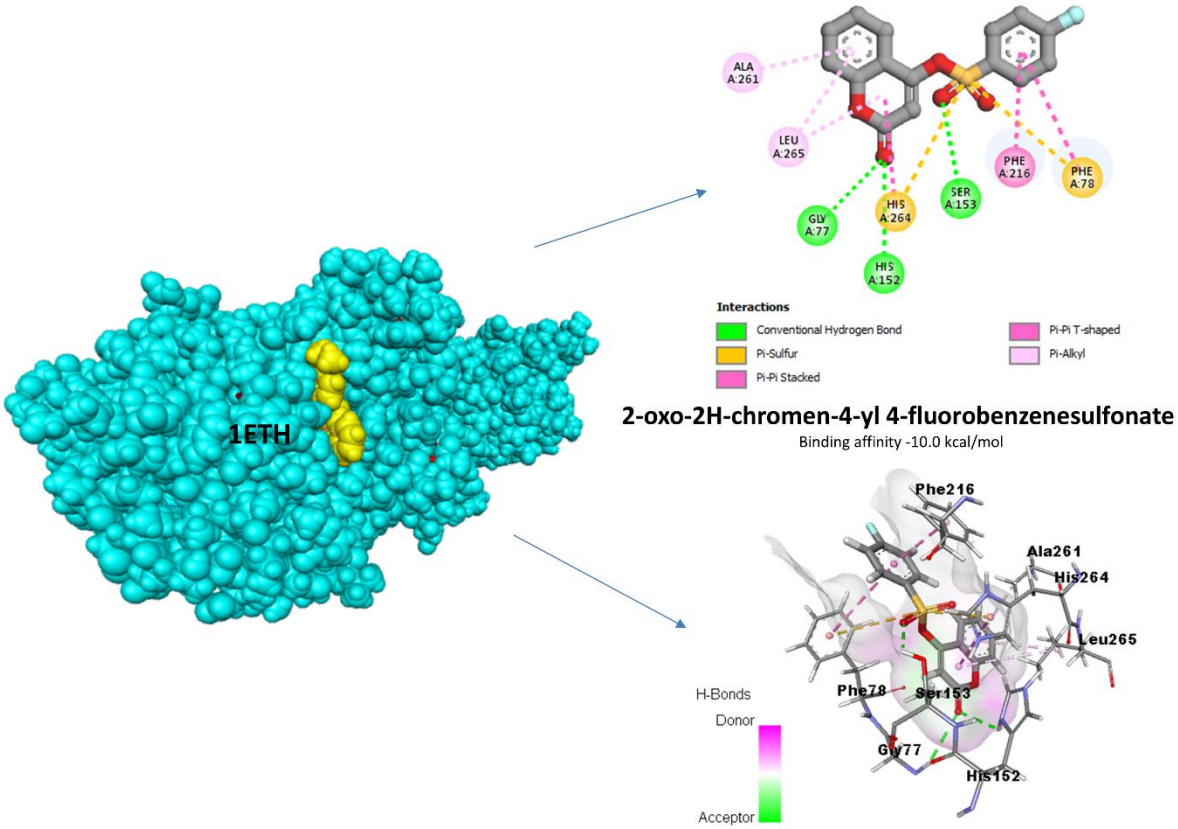


Figure 2. The H-bond and 2D-structure poses of the 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate on pancreatic lipase

The interactions of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate with pancreatic lipase were observed as Conventional Hydrogen Bond (Gly 77;2.9760, His 152;2.5895, Ser 153;2.3265), Pi--Sulfur (Phe 78;5.76638, His 264;4.14949), Pi-Pi Stacked (Phe 216;3.75503, His 264;5.45293), Pi-Pi T-shaped (Phe 78;5.2418) and Pi Alkyl (Ala 261;4.2064, Leu 265;4.79478). In the interactions of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate with pancreatic lipase enzyme, the same conventional hydrogen bond interactions (Gly

77;2.9760, His 152;2.5895, Ser 153;2.3265) were observed, similar to those of the standard orlistat compound [29]. The affinity value of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate (-10.0 kcal/mol) was calculated to be more effective than that of the standard orlistat compound (-7.1 kcal/mol) (Table 1).

Table 1. Molecular docking interactions of 2-okso-2H-kromen-4-il 4-florobenzensülfonate with pancreatic lipase

Compounds	Affinity (kcal/mol)	Type of Interactions	Residue Information	Distance
2-okso-2H-kromen-4-il 4-florobenzensülfonate	-10.0	Conventional Hydrogen Bond	Gly 77	2.9760
		Conventional Hydrogen Bond	His 152	2.5895
		Conventional Hydrogen Bond	Ser 153	2.3265
		Pi--Sulfur	Phe 78	5.76638
		Pi--Sulfur	His 264	4.14949
		Pi -Pi Stacked	Phe 216	3.75503
		Pi -Pi Stacked	His 264	5.45293
		Pi -Pi T-shaped	Phe 78	5.2418
		Pi Alkyl	Ala 261	4.2064
		Pi Alkyl	Leu 265	4.79478

It is important that the best type of intermolecular interaction is hydrogen bonding, and that the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate exhibits hydrogen bonding similar to the standard orlistat compound. Furthermore, it was observed that the conventional hydrogen bond distances were similar to those of orlistat. These results suggest that the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has strong interactions with pancreatic lipase.

In silico ADMET predictions

PreADMET and Molinspiration software were used to determine the drug-likeness and toxicity properties of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate [44,45]. The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was observed to have good absorption, with human intestinal absorption (HIA 99.061) values ranging from 70% to 100% (Table 2), [46]. The CaCO2 value (13.716) of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate showed moderate permeability (CaCO2 = 4–70) [47]. The blood-brain barrier (BBB) value (1.5155) of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

fluorobenzenesulfonate was observed to be inactive in terms of the central nervous system (CNS) (BBB > 0.40) [48].

Table 2. Drug-likeness / ADME/ toxicity prediction data of the structures

	Druglikeness / ADME/ toxicity prediction											
	Rule of five	**[a]Caco2**	**HIA**	**[b]BBB**	**Anes test**	**Carcino mouse**	**Carsino rat**	**hERG inhibition**	**[c]MDCK nm/s**	**Skin permeability**	**Buffer solubility (mg/L)**	**PPB**
2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate	suitable	13.7	99.06	1.515	mutagen	positive	negative	Low risk	22.6	-2.227	3803.8	100.0

The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has been observed to be mutagenic. The compound 12-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has been observed to be negative for carcinogenicity in rats. The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has been recorded as having a low risk of hERG inhibition. The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has been observed to have low cell permeability for Mandin Darby Dog Kidney (MDCK). The plasma protein binding (PPB) value of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate has been determined to be strongly bound [49].

Table 3. *In silico* physicochemical properties of the coumarin sulfonated derivatives

Compound	MW	miLog	TPSA	HBA	HBD	nrotB
2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate	245.34	3.07	73.59	5	0	3

MW= Molecular Weight; miLog= Octanol-water partition coefficient; TPSA= Total polar surface area; HBA = Hydrogen bond acceptor; HBD= Hydrogen bond donor; nrotB: Number of rotable bonds

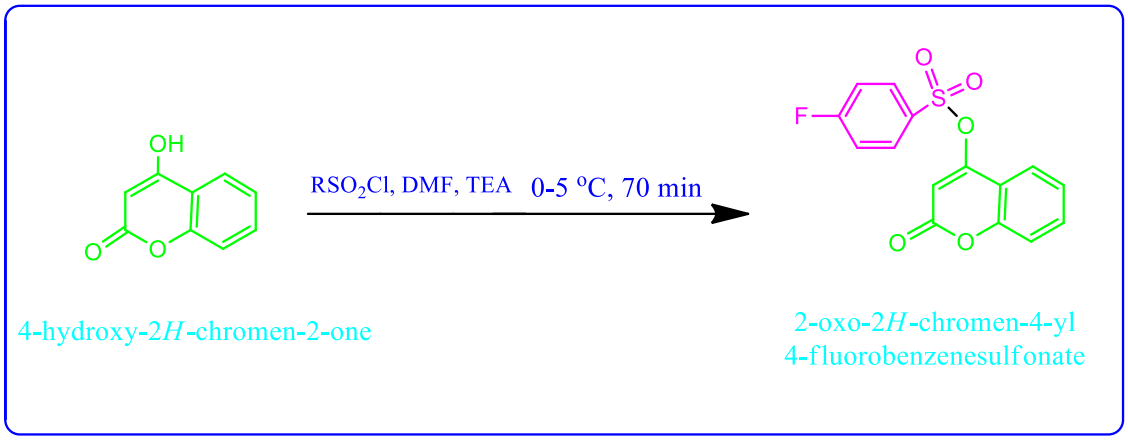
The topological polar surface area (TPSA; 73.59) of the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was observed to be less than 140 Å (Angstrom) [50]. Therefore, it can be said that drug-like properties may emerge thanks to the TPSA value shown by the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate. Furthermore, it was observed that the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate conforms to Lipinski's "Five Rules" (Table 3).

MATERIAL AND METHODS

The synthesis of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was synthesized using a method previously developed by us (Scheme 1), [51]. The compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate synthesized according to the specified method was separated by filtration and dried. Then the obtained product was crystallized with benzene-hexane solvent (1:5). **2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate:** Color: White; yield: 60%; M.p. : 112-115 °C; ^{1}H NMR ($CDCl_3$), ppm: 8.15-7.89 (m, 2H, Ar-H), 7.66-7.55 (m, 2H, Ar-H), 7.38-7,25 (m, 4H, Ar-H), 6.37 (s, 1H, Ar-H); ^{13}C NMR Spektrumu ($CDCl_3$), ppm: 163,1 (C-F), 160.6 (-C=O), 155.8 (Ar-C), 152.8 (Ar-C), 148.7(Ar-C), 128.7(Ar-C), 126.7(Ar-C), 126,6(Ar-C), 125.8(Ar-C), 119.9(Ar-C), 118.2(Ar-C), 112.7(Ar-C), 112.5(Ar-C), 112.2(Ar-C), 109.9(Ar-C), 99.1(Ar-C); HRMS (ESI) m/z: calculated for $C_{15}H_9FO_5S$ $[M+H]^+$= 321.0154 found 321.0227



Scheme 1. Synthesis pathway of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate.

Molecular docking

Molecular docking studies of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate were performed according to a previously existing method in the literature [52]. UCSF Chimera, AutoDock Vina, Avogadro, and Biovia Discovery Studio Visualizer software were used in the molecular docking studies of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate [53-56]. The binding pocket coordinates with pancreatic lipase were determined as center x,y,z: 54.73, 46.87, 122.10 / dimensions x,y,z: 14, 14, 14.

ADMET studies

Prediction of ADME, drug similarity, and toxicity of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was performed using PreADMET and Molinspiration software [44,45].

CONCLUSION

In summary, the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was synthesized and characterized under temperate conditions. Furthermore, its potential inhibitory activity on pancreatic lipase in silico was investigated. Characterization of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was performed using 1H NMR, 13C NMR, and HRMS analyses. According to the spectrum data, 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate was observed to be in a pure form. According to molecular docking analysis, the compound 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate (-10.0 kcal/mol) was observed to exhibit higher inhibitory activity for pancreatic lipase compared to the standard (-7.1 kcal/mol). Furthermore, ADMET studies were conducted to assess the drug-like properties of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate. The data showed that 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate conformed to Lipinski's "Five Rules". This study highlights the molecular docking analysis of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate, which effectively inhibits the pancreatic lipase enzyme.

Author Contribution Statement

Adem Korkmaz has performed the synthesis of 2-oxo-2H-chromen-4-yl 4-fluorobenzenesulfonate, characterized, reviewed, ADMET, and molecular docking studies.

CONFLICT OF INTEREST

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

REFERENCES

[1] C. Zhuang, W. Zhang, C. Sheng, W. Zhang, C. Xing, Z. Miao, Chalcone: a privileged structure in medicinal chemistry. *Chemical reviews*, *117*(12), (2017), 7762-7810.

[2] S.S. Mukhtar, N.M. Morsy, A.S. Hassan, T.S. Hafez, H.M. Hassaneen, F.M. Saleh, A Review of Chalcones: Synthesis, Reactions, and Biological Importance. *Egyptian Journal of Chemistry*, *65* (8), (2022), 379-395.

[3] A. Rammohan, J.S. Reddy, G. Sravya, C.N. Rao, G.V. Zyryanov, Chalcone synthesis, properties and medicinal applications: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *18*, (2020), 433-458.

[4] A. Siddiqa, A. Tajammal, A. Irfan, M. Azam, M.A. Munawar, R.S. Hardy, M.A.R. Basra, Synthesis, molecular docking, bio-evaluation and quantitative structure activity relationship of new chalcone derivatives as antioxidants. *Journal of Molecular Structure*, *1277*, (2023), 134814.

[5] H. Iqbal, T. Akhtar, M. Haroon, A. Aktaş, E. Tahir, M. Ehsan, Synthesis of Thiazole-Chalcone Hybrid Molecules: Antioxidant, Alpha (α)-Amylase Inhibition and Docking Studies. *Chemistry & Biodiversity*, (2023), e202201134.

[6] M. Xu, P. Wu, F. Shen, J. Ji, K.P. Rakesh, Chalcone derivatives and their antibacterial activities: Current development. *Bioorganic Chemistry*, *91*, (2019), 103133.

[7] A.T.L. Dos Santos, J.B. de Araújo-Neto, M.M.C. da Silva, M.E.P. da Silva, J.N.P. Carneiro, V.J.A. Fonseca, M.F.B. Morais-Braga, Synthesis of chalcones and their antimicrobial and drug potentiating activities. *Microbial Pathogenesis*, *180*, (2023), 106129.

[8] R, Pereira, A.M. Silva, D. Ribeiro, V.L. Silva, E. Fernandes, Bis-chalcones: A review of synthetic methodologies and anti-inflammatory effects. *European Journal of Medicinal Chemistry*, *252*, (2023), 115280.

[9] H. Kumar, V. Devaraji, R. Joshi, M. Jadhao, P. Ahirkar, R. Prasath, ... & S.K. Ghosh, Antihypertensive activity of a quinoline appended chalcone derivative and its site specific binding interaction with a relevant target carrier protein. *RSC advances*, *5*(80), (2015), 65496-65513.

[10] G.V. Rossi, J.D. Avellino, An evaluation of the antihistaminic activity of a new series of chalcone derivatives. *American journal of pharmacy and the sciences supporting public health*, *129*(9), (1957), 324–331.

[11] H. Wu, Y. Zhang, H. Chen, J. Liu, L. Xiu, J. Huang, Preparation, antioxidant and antibacterial activities of cryptate copper (II)/sulfonate chitosan complexes. *International Journal of Biological Macromolecules*, *231*, (2023), 123200.

[12] B.V. Kendre, M.G. Landge, S.R. Bhusare, Synthesis and biological evaluation of some novel pyrazole, isoxazole, benzoxazepine, benzothiazepine and benzodiazepine derivatives bearing an aryl sulfonate moiety as antimicrobial and anti-inflammatory agents. *Arabian Journal of Chemistry*, *12*(8), (2019), 2091-2097.

[13] D. Kanabar, P. Farrales, M. Gnanamony, J. Almasri, E.M. Abo-Ali, Y. Otmankel, ... A. Muth, Structural modification of the aryl sulfonate ester of cjoc42 for enhanced gankyrin binding and anti-cancer activity. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *30*(4), (2020), 126889.

[14] A.E. Amr, M.M. Abdalla, S.A. Essaouy, M.M.H. Areef, M.H. Elgamal, T.A. Nassear, ... M.A. Al-Omar, Synthesis of some substituted 5 H-furo [3, 2-g] chromene and benzofuran sulfonate derivatives as potent anti-HIV agents. *Russian Journal of General Chemistry*, *87*, (2017), 1591-1600.

[15] A.E. Amr, M.M. Abdalla, S.A. Essaouy, M.M.H. Areef, M.H. Elgamal, T.A. Nassear, A.E. Haschich, Synthesis of some substituted 6, 7-dihydro-4-methoxy-7-methyl-7-substituted-5-

oxo-5 H-furo [3, 2-g] chromene-9-sulfonate derivatives as potent antihypertensive α-blocking and antiarrythmic agents. *Russian Journal of General Chemistry*, *87*, (2017), 1826-1833.

[16] R. Rondanin, S. Fochi, R. Baruchello, T. Bernardi, P. Oliva, F. Semeraro, ... G. Giannini, Arylamidonaphtalene sulfonate compounds as a novel class of heparanase inhibitors. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, *27*(18), (2017), 4421-4425.

[17] O. Akyıldırım, H. Medetalibeyoğlu, E. Oğuz, A. Aras, A. Atalay, A. Korkmaz, ... H. Yüksek, Some Novel Mannich Bases Derived From 1, 2, 4-Triazoles: Design, Synthesis, Characterization, and Glutathione S-transferase Inhibition Properties Investigations. Journal of Molecular Structure, (2023), 136321.

[18] A. Korkmaz, L. Rhyman, P. Ramasami, Synthesis, characterization, DFT and molecular docking studies of acetone O-((2, 5-dichlorophenyl) sulfonyl) oxime. Physical Sciences Reviews, (2022), (0)

[19] F. Yetişsin, Exogenous acetone *O*-(2-naphthylsulfonyl) oxime improves the adverse effects of excess copper by copper detoxification systems in maize. International Journal of Phytoremediation, (2023), 1-13.

[20] F. Yetişsin, İ. Sevimli, Acetone O-(4-chlorophenylsulfonyl) Oxime as an Agent Alleviating the Adverse Effects of Drought Stress in Maize. JIST.12(4) (2022), 2014-2026

[21] F. Yetişsin, A. Karakaya, Tuz stresi altındaki mısır fidelerine aseton o-(4 klorofenilsülfonil) oksim ön uygulamasının biyokimyasal parametreler üzerine etkilerinin araştırılması, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 23 (1), (2022), 74-83

[22] F. Yetişsin, A. Korkmaz, A. Synthesis and characterization of naphthalene-sulfonate hybrid structures and their effects on abiotic stress indicators in maize. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 9(1), (2023), 89-95.

[23] F. Yetişsin, Exogenous acetone O-(2-naphthylsulfonyl) oxime improves the adverse effects of excess copper by copper detoxification systems in maize. International Journal of Phytoremediation, (2023), 1-13.

[24] Korkmaz, A., & Bursal, E. (2025). Synthesis, characterization, biological evaluation, ADMET, and molecular docking studies of novel chalcone-sulfonate hybrid compounds as potential antioxidant and antiobesity activities. Journal of Molecular Structure, 1332, 141638.

[25] Aslan, H., Yetişsin, F., Korkmaz, A., & Bursal, E. (2024). Design, synthesis, characterization, enzyme inhibition, molecular docking, and pharmacological evaluation of new chalcone-sulfonate derivatives bearing thiophene. ChemistrySelect, 9(14), e202400053.

[26] Alkiş, M. E., & Korkmaz, A. (2025). Synthesis, characterization, anticancer activity of novel chalcone derivatives and the efficacy of electroporation. Journal of Molecular Structure, 144184.

[27] Korkmaz, A., Bursal, E., & Yetişsin, F. (2025). The evaluation of potential triple enzyme inhibition and antioxidant activities of novel series 2-(benzo [d] thiazol-2-yl) phenol sulfonate derivatives. Journal of the Iranian Chemical Society, 22(9), 1931-1955.

[28] Bursal, E., Korkmaz, A., & Yetişsin, F. (2025). Synthesis and Biological Evaluation of A Novel Series of Chalcone Derivatives as Enzyme Inhibitors and Antioxidant Agents. ChemistrySelect, 10(18), e202500128.

[29] Korkmaz, A., Bursal, E., & Kurtay, G. (2023). In Vitro and In Silico Evaluation of Amylase, Tyrosinase, and Pancreatic Lipase Inhibitions of Novel Benzothiazole-Sulfonate Derivatives. ChemistrySelect, 8(42), e202302936.

[30] T. Guo, R. Xia, M. Chen, S. Su, J. He, M. He, ... W. Xue, Biological activity evaluation and action mechanism of 1, 4-Pentadien-3-one derivatives containing thiophene sulfonate. *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, *195*(2), (2020), 123-130.

[31] T. Guo, R. Xia, M. Chen, J. He, S. Su, L. Liu, ... W. Xue, Biological activity evaluation and action mechanism of chalcone derivatives containing thiophene sulfonate. *RSC advances*, *9*(43), (2019), 24942-24950.

[32] O.V. Yarishkin, H.W. Ryu, J.Y. Park, M.S. Yang, S.G. Hong, K.H. Park, Sulfonate chalcone as new class voltage-dependent K+ channel blocker. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, *18*(1), (2008), 137-140.

[33] E.J. Kim, H.W. Ryu, M.J. Curtis-Long, J. Han, J.Y. Kim, J.K. Cho, ... K.H. Park, Chemoselective regulation of TREK2 channel: Activation by sulfonate chalcones and inhibition by sulfonamide chalcones. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*, *20*(14), (2010), 4237-4239.

[34] A. Korkmaz, Design, synthesis, characterization, molecular docking studies, molecular properties, toxicity, and bioactivity score prediction evaluation of novel chalcone-sulfonate hybrid derivatives. *Journal of Molecular Structure*, *1286*, (2023), 135597.

[35] W.C. Liu, W.H. Lin, A.J. Davis, F. Jordán, H.T. Yang, M.J. Hwang, A network perspective on the topological importance of enzymes and their phylogenetic conservation. *BMC bioinformatics*, *8*(1), (2007), 1-12.

[36] A. Korkmaz, E. Bursal, Synthesis, biological activity and molecular docking studies of novel sulfonate derivatives bearing salicylaldehyde. Chemistry & Biodiversity, 19(6), (2022), e202200140.

[37] A. Kumar, S. Chauhan, Pancreatic lipase inhibitors: The road voyaged and successes. *Life Sciences*, *271*, (2021), 119115.

[38] L. Rajan, D. Palaniswamy, S.K. Mohankumar, Targeting obesity with plant-derived pancreatic lipase inhibitors: A comprehensive review. *Pharmacological research*, *155*, (2020), 104681.

[39] T.T. Liu, X.T. Liu, Q.X. Chen, Y. Shi, Lipase inhibitors for obesity: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, *128*, (2020), 110314.

[40] E.N. Moreno-Córdova, A.A. Arvizu-Flores, E.M. Valenzuela-Soto, K.D. García-Orozco, A. Wall-Medrano, E. Alvarez-Parrilla, ... G.A. González-Aguilar, Gallotannins are uncompetitive inhibitors of pancreatic lipase activity. *Biophysical Chemistry*, *264*, (2020), 106409.

[41] H.R. Bajes, I. Almasri, Y. Bustanji, Plant products and their inhibitory activity against pancreatic lipase. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, *30*, (2020), 321-330.

[42] R. Sultana, A.M. Alashi, K. Islam, M. Saifullah, C.E. Haque, R.E. Aluko, Inhibitory activities of Polyphenolic extracts of Bangladeshi vegetables against α-amylase, α-glucosidase, pancreatic lipase, renin, and angiotensin-converting enzyme. *Foods*, *9*(7), (2020), 844.

[43] N. Cardullo, V. Muccilli, L. Pulvirenti, C. Tringali, Natural isoflavones and semisynthetic derivatives as pancreatic lipase inhibitors. *Journal of Natural Products*, *84*(3), (2021), 654-665.

[44] Molinspiration C, 2011. Calculation of molecular properties and bioactivity score. http://www. molinspiration. com/cgi-bin/properties.

[45] A. Daina O. Michielin V. Zoete SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. Scientific Reports 7 (2017) 42717.

[46] M. Oja, U. Maran, pH-permeability profiles for drug substances: Experimental detection, comparison with human intestinal absorption and modelling. Eur. J. Pharm. Sci., 123 (2018), 429-440

[47] Y. Li, Y. Xu, C. Pan, Z. Ren, X. Yang, TRIF is essential for the anti-inflammatory effects of Astragalus polysaccharides on LPS-infected Caco2 cells. Int. J. Biol. Macromol., 159 (2020), 832-838

[48] W. Chen, S. Yao, J. Wan, Y. Tian, L. Huang, S. Wang, X. Zhang, BBB-crossing adeno-associated virus vector: An excellent gene delivery tool for CNS disease treatment. J. Control. Release. 333 (2021), 129-138

[49] G. Moussa, R. Alaaeddine, L.M. Alaeddine, R. Nassra, A.S.F. Belal, A. Ismail, A.F. El Yazbi, Y.S. Abdel-Ghany, A. Hazzaa, Novel click modifiable thioquinazolinones as anti-inflammatory agents: Design, synthesis, biological evaluation and docking study. Eur. J. Med. Chem, 144 (2018), 635

[50] A. Whitty, L.A. Viarengo, M. Zhong, Progress towards the broad use of non-peptide synthetic macrocycles in drug discovery. Org. Biomol. Chem. 15 (2017), 7729-7735

[51] Korkmaz, A. (2022). Synthesis, characterization, ADMET prediction, and molecular docking studies of novel coumarin sulfonate derivatives. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *12*(2), 918-932.

[52] Korkmaz, A., & Bursal, E. (2022). An in vitro and in silico study on the synthesis and characterization of novel bis (sulfonate) derivatives as tyrosinase and pancreatic lipase inhibitors. Journal of Molecular Structure, 1259, 132734.

[53] D.S. Biovia (2017), San Diego, CA, USA, vol. 936.

[54] M.D. Hanwell, D.E. Curtis, D.C. Lonie, T. Vandermeersch, E. Zurek, G.R. Hutchison, Avogadro: an advanced semantic chemical editor, visualization, and analysis platform. J. Cheminformatics. 4 (2012), 1-17

[55] E.F. Pettersen, T.D. Goddard, C.C. Huang, G.S. Couch, D.M. Greenblatt, E.C. Meng, T.E. Ferrin, UCSF Chimera—a visualization system for exploratory research and analysis. J. Comput. Chem. 25(13), (2004), 1605-1612

[56] O. Trott, A.J. Olson, Software news and update AutoDockVina: improving the speed and accuracy of docking with a new scoring function. efficient optimization, and multithreading, J. Comput. Chem. 31(2), (2010), 455-461

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SUDA ÇÖZÜNÜR YENİ ÇİNKO(II) FTALOSİYANİN SENTEZİ

Dr. Öğr. Üyesi, NAZLI ÖZTÜRK
Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, nazli.ozturk@acibadem.edu.tr –
ORCID ID: 0000-0002-3857-5673

ÖZET

Fotodinamik terapi (PDT), bir fototerapi yöntemi olarak son zamanlarda kanser tedavi için ilgi görmektedir. Bu yöntem üç ana elementten (ışık, oksijen moleküllü ve ışığa duyarlı birleşik) oluşmaktadır. Işık uygulanmadığında, fotosensitizör sağlıklı veya anormal doku üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Ancak ışığa maruz kaldığında, fotosensitizör uyarılarak ortamdaki triplet oksijen molekülünü singlet haline dönüşmesine neden olur. Bir fotosensitizörün aktivitesi singlet oksjen üretme verimi ölçülerek değerlendirilebilir [1]. Son zamanlarda, ftalosiyaninler potansiyel fotosensitizörler olarak ilgi çekmektedir [2,3].

Ftalosiyanin halkası porfirin analogu olarak dört indol ünitesinden oluşan 18π-elektron sistemine sahip bir yapıdır. Ftalosiyaninler halkadaki yüksek elektron transfer nedeni ile olağanüstü elektronik ve optiksel özellikler gösterir ve yüksek kimyasal/termal kararlığıla sahiptir. Ayrıca, ftalosiyanin halkasının merkezi ve çevresi sırasıyla uygun metal iyonlar ve organik sübstitüentler ile modifiye edilip çözünürlüğünün iyileştirilmesinin yanısıra belirli bir uygulama için uygun bir malzemeye dönüşebilir [2-4].

Bu çalışma kapsamında, yeni üç amin grubu içeren ftalonitril türevi sentezlenip çinko asetat ile muamile edilerek çinko (II) ftalosiyanin türevi elde edildi. Sentezlenen ftalosiyanin metil iyodür eşliğinde suda çözünür hali elde edildi.

Anahtar Kelimeler : Ftalosiyanin; singlet oksijen; suda çözünür; fotosensitizör

---

[1] Dougherty TJ, Gomer CJ, Henderson BW, Jori G, Kessel D, Korbelik M, Moan J, Peng Q. Photodynamic therapy. Journal of the National Cancer Institute 1998; 90 (12): 889-905.
[2] Leznoff CC, Lever ABP. Phthalocyanines: Properties and Applications, Vol. 1-4; New York, NY, USA: VCH, 1989, 1993, and 1996.
[3] Farajzadeh N, Özdemir S, Gonca S, Atmaca GY , Erdoğmuş A, Bayır Za, Koçak MB. Photophysicochemical and Biological Properties of New Phthalocyanines Bearing 4-(trifluoromethoxy)phenoxy and 2-(4-methylthiazol-5-yl)ethoxy Groups on Peripheral positions. Photochemistry and Photobiology, 2022; 98: 894–906.
[4] Farajzadeh N, Atmaca GY, Erdoğmuş A, Koçak MB. Comparatively singlet oxygen efficiency by sono-photochemical and photochemical studies of new lutetium (III) phthalocyanines. Dyes and Pigments 2021; 190: 109325.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KAHVE ÇEKİRDEKLERİNDEKİ TOKSİK ESER ELEMENTLERİN MİKROEKSTRAKSİYONU

MICROEXTRACTION OF TOXIC TRACE ELEMENTS FROM COFFEE BEANS

Prof. Dr. Adil ELİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, elik@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-3942-4711

Prof. Dr. Nail ALTUNAY

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, naltunay@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, seckinf@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

ÖZET

Kahve çekirdekleri, yetiştirilme koşulları, toprak özellikleri ve çevresel kirleticilere bağlı olarak kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As), krom (Cr), nikel (Ni) ve bakır (Cu) gibi çeşitli toksik eser elementleri bünyesinde biriktirebilen bir gıda maddesidir. Bu elementler besin zinciri yoluyla insan vücuduna geçerek nörotoksisite, nefrotoksisite, kardiyovasküler hasar ve kanserojen etkilere yol açabilmektedir. Bu nedenle kahve çekirdeklerinde esre element düzeylerinin doğru ve güvenilir şekilde tayin edilmesi, hem tüketici güvenliği hem de uluslararası gıda güvenliği standartlarının karşılanması açısından zorunludur. Ancak kahve yapısındaki yüksek organik içerik, pigmentler, yağlar ve fenolik bileşikler analitik ölçümlerde ciddi matris etkilerine yol açarak ICP-MS, AAS ve ICP-OES gibi tekniklerle doğrudan tayinde birtakım sorunlar oluşturur. Bu nedenle, analiz öncesinde seçici ayırma ve zenginleştirme adımları gereklidir. Mikroekstraksiyon teknikleri, minmum çözücü kullanımı, düşük maliyet, kısa uygulama süresi ve yeşil kimya ilkeleriyle uyumlu olmaları nedeniyle geleneksel çözücü ekstraksiyon yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunar. Sıvı-sıvı mikroekstraksiyon (LPME), oyuk fiber sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu (HF-LPME), tek damla mikroekstraksiyonu (SDME), dağıtıcı sıvı-sıvı mikroekstraksiyon (DLLME) ve katı faz mikroekstraksiyonu (SPME) teknikleri metal iyonlarını karmaşık kahve matrisinden seçici olarak ayırmak amacıyla yaygın şekilde uygulanmaktadır. Literatürde bu yöntemlerin kahve örneklerinde toksik element analizine uyarlanabilirliği giderek artmakta olup, her tekniğin kahve matrisi açısından belirgin avantajları ve sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu çalışma, kahve çekirdeklerinde bulunan toksik eser elementlerin mikroekstraksiyon teknikleriyle analitik tayinine yönelik bir değerlendirme sunmakta ve bu analitik prosedürleri değerlendirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikroekstraksiyon, ayırma ve zenginleştirme, toksik eser elementler, yeşil kimya

ABSTRACT

Coffee beans are a foodstuff that can accumulate various toxic trace elements, such as lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), chromium (Cr), nickel (Ni), and copper (Cu), depending on growing conditions, soil characteristics, and environmental contaminants. These elements can enter the human body through the food chain, causing neurotoxicity, nephrotoxicity, cardiovascular damage, and carcinogenic effects. Therefore, accurate and reliable determination of trace element levels in coffee beans is essential for both consumer safety and meeting international food safety standards. However, the high organic content, pigments, oils, and phenolic compounds in coffee can cause significant matrix effects in analytical measurements, creating challenges for direct determinations using techniques such as ICP-MS, AAS, and ICP-OES. Therefore, selective separation and enrichment steps are necessary before analysis. Microextraction techniques offer significant advantages over traditional solvent extraction methods due to their minimal solvent use, low cost, short application time, and compatibility with green chemistry principles. Liquid-liquid microextraction (LPME), hollow fiber liquid-liquid microextraction (HF-LPME), single drop microextraction (SDME), dispersive liquid-liquid microextraction (DLLME), and solid phase microextraction (SPME) techniques are widely applied to selectively separate metal ions from complex coffee matrices. The applicability of these methods to the analysis of toxic elements in coffee samples is increasingly evident in the literature, and each technique has distinct advantages and limitations with respect to the coffee matrix. This study presents a review of the analytical determination of toxic trace elements in coffee beans using microextraction techniques and evaluates these analytical procedures.

Keywords: Microextraction, separation and enrichment, toxic trace elements, green chemistry

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. GİRİŞ

Kahve, dünya genelinde en yaygın tüketilen içeceklerden biridir. Ticari açıdan oldukaç önemli bir ürün olan kahve çekirdekleri bileşimi ve bu bileşimin incelenmesi de birçok açıdan gereklidir. Kahve çekirdeklerinin kimyasal bileşimi yetiştirildiği toprağın jeokimyasal yapısı, kullanılan tarımsal girdiler, sulama suyu kalitesi ve çevresel kirlilik düzeyi gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler, özellikle toksik eser elementlerin kahve bitkilerinin tarafından alınıp çekirdeklerde birikmesine neden olabilmektedir (Alloway, 2013). Kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As), krom (Cr), nikel (Ni) ve cıva (Hg) gibi toksik elementler, kahve çekirdeklerinde düşük derişimlerde bulunmalarına rağmen biyokümülatif özellikleri nedeniyle insan sağlığı açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Toksik eser elementlerin özellikle uzun süreli maruziyeti nörolojik bozukluklar, böbrek ve karaciğer hasarı, kardiyovasküler hastalıklar ve çeşitli kanser türleri ile ilişkilendirilmektedir. Örneğin kadmiyumun uzun süreli alımı böbrek fonksiyonlarında geri dönüşü olmayan hasarlara yol açarken, kurşun özellikle çocuklarda nönörolojik bozukluklara neden olmaktadır (Jarup, 2003; Tchounwou vd., 2012). Bu bağlamda, kahve gibi yaygın tüketilen gıda ürünlerinde toksik eser elementlerin güvenilir şekilde izlenmesi, ulusal ve uluslararası gıda güvenliği mevzuatlarının temel gereklilikleri arasında yer almaktadır.

Kahve çekirdekleri, yüksek miktarda organik madde, lipid, protein, polisakkarit ve fenolik bileşik içeren karmaşık bir matristir. Bu karmaşık matris, eser elementlerin doğrudan enstrümantal analizini zorlaştırmakta ve özellikle atomik absorpsiyon spektrometrisi (AAS), indüktif eşleşmiş plazma-optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) ve indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometrisi (ICP-MS) gibi tekniklerde ciddi matris etkilerine neden olmaktadır. Matris bileşenleri, analit sinyalinin bastırılmasına veya yapay olarak artmasına yol açarak doğru ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilmesini engelleyebilmektedir. Bu nedenle, kahve çekirdeklerinde eser element analizinden önce etkili bir ayırma ve zenginleştirme adımının uygulanması zorunlu hale gelmektedir. Ayırma ve zenginleştirme işlemleri, yalnızca matris etkilerinin azaltılmasını değil, aynı zamanda eser elementlerin tayin sınırlarının düşürülmesini de mümkün kılmaktadır. Özellikle toksik elementlerin genellikle $\mu g\ kg^{-1}$ veya daha düşük seviyelerde bulunması, doğrudan analiz yöntemlerinin yeterli hassasiyeti sağlayamamasına neden olmaktadır (Welna vd., 2014). Bu noktada mikroekstraksiyon teknikleri, düşük çözücü tüketimi, yüksek zenginleştirme faktörü ve seçicilik avantajlarıyla ön plana çıkmaktadır.

Mikroekstraksiyon yöntemleri klasik sıvı-sıvı ekstraksiyon ve katı faz ekstraksiyonuna kıyasla daha çevre dostu yaklaşımlar sunmakta ve yeşil analitik kimya ilkeleriyle yüksek uyum göstermektedir. Bu tekniklerin kahve gibi kompleks gıda matrislerine uygulanabilirliği de çalışılan bir alandır. Ancak her mikroekstraksiyon tekniğinin kahve çekirdeği matrisi açısından sunduğu avantajlar ve sınırlılıklar farklılık göstermektedir. Bu nedenle, yöntemlerin yalnızca genel özellikleriyle değil, kahve çekirdeklerinin özgün kimyasal yapısı bağlamında değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, kahve çekirdeklerinde toksik eser elementlerin analitik tayini için kullanılan mikroekstraksiyon teknikleri ele alınmakta ve okuyucuya kahve gibi kompleks matrislerde bu türlerin uygulanabilirliği analitik olarak incelenmektedir.

2. KAHVE ÇEKİRDEKLERİNDE BULUNAN ESER ELEMENTLER VE ETKİLERİ

Kahve bitkisi, kök sistemi aracılığıyla toprakta bulunan mineral ve eser elementleri bünyesine alabilen bir tarımsal üründür. Toprak bileşimi, gübreleme uygulamaları, atmosferik çökelme ve endüstriyel faaliyetler gibi çevresel faktörler, kahve çekirdeklerinde toksik eser elementlerin birikiminde belirleyici rol oynamaktadır. Literatürde yeşil ve kavrulmuş kahve çekirdeklerinde en sık rapor edilen toksik elementler arasında kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), arsenik (As), krom (Cr), nikel (Ni) ve cıva (Hg) yer almaktadır (Oliveira vd., 2012; Szefer & Grembecka, 2022).

Kurşun (Pb), çevresel kirleticiler arasında en yaygın olan toksik metallerden biridir ve kahve bitkisine hem toprak hem de atmosferik yollarla taşınabilmektedir. Pb maruziyeti, özellikle merkezi sinir sistemi üzerinde toksik etkilere sahip olup çocuklarda bilişsel gelişim bozuklukları ve yetişkinlerde kardiyovasküler sorunlarla ilişkilendirilmektedir. Kahve gibi günlük tüketimi yaygın olan ürünlerde düşük Pb derişimleri dahi uzun vadede sağlık riski oluşturabilmektedir (ATSDR, 2020).

Kadmiyum (Cd), fosfatlı gübrelerin kullanımı ve endüstriyel emisyonlar sonucu tarım topraklarında birikebilen son derece toksik bir elementtir. Cd'nin biyolojik yarı ömrü oldukça uzun olup, kronik maruziyet durumunda böbrek fonksiyonlarında bozulma ve kemik mineral yoğunluğunda azalmaya neden olduğu bilinmektedir. Kahve çekirdeklerinde Cd varlığı, özellikle yoğun kahve tüketimi olan popülasyonlar için dikkatle izlenmesi gereken bir parametredir (Jarup & Akesson, 2009).

Arsenik (As), doğal jeolojik kaynaklardan veya pestisit kalıntılarından tarım ürünlerine geçebilen toksik bir metaloiddir. İnorganik arsenik türleri, kanserojen etkileri nedeniyle en riskli formlar arasında yer almakta ve uzun süreli maruziyet durumunda deri, akciğer ve mesane kanseri ile ilişkilendirilmektedir. Kahvede arsenik genellikle düşük seviyelerde bulunmasına rağmen, analitik tayininin yüksek hassasiyetle yapılması gerekmektedir (EFSA, 2009).

Krom (Cr) ve nikel (Ni) ağır metalleri, eser miktarlarda biyolojik işlevlere sahip olmalarına rağmen yüksek derişimlerde toksik etki gösterebilmektedir. Özellikle Cr(VI) formu, güçlü oksitleyici özellikleri ve kanserojen etkisi nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Kahve çekirdeklerinde kromun türleşme durumu nadiren rapor edilse de, toplam krom tayini gıda güvenliği açısından önemlidir (Kotas & Stasicka, 2000). Nikel ise alerjik reaksiyonlar ve solunum sistemi rahatsızlıklarıyla ilişkilendirilmekte olup, diyet yoluyla alımı kontrol altında tutulması gereken elementler arasında yer almaktadır.

Cıva (Hg), özellikle atmosferik taşınım yoluyla tarım ürünlerine ulaşabilen ve biyokümülatif özellik gösteren son derece toksik bir elementtir. Kahve çekirdeklerinde Hg genellikle çok düşük seviyelerde rapor edilmekle birlikte, analitik yöntemlerin düşük tayin sınırlarına sahip olması gerekmektedir (Clarkson & Magos, 2006).

Bu toksik eser elementlerin kahve çekirdeklerinde genellikle $\mu g\ kg^{-1}$ seviyelerinde bulunması, hem analitik hassasiyet ihtiyacını hem de matris etkilerinin etkin biçimde giderilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum, doğrudan enstrümantal analiz yerine seçici ayırma ve zenginleştirme adımlarının önemini artırmakta ve mikroekstraksiyon tekniklerini analitik açıdan cazip hale getirmektedir.

3. MATRİS ETKİSİNİN AZALTILMASI VE ANALİTİK PARAMETRELERİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Kahve çekirdekleri, yüksek miktarda organik madde, lipitler, proteinler, karbonhidratlar ve fenolik bileşikler içeren son derece karmaşık bir gıda matrisidir. Bu bileşenler, toksik eser elementlerin analitik tayininde ciddi girişimler oluşturarak hem örnek hazırlama aşamasını hem de enstrümantal ölçüm süreçlerini doğrudan etkilemektedir. Özellikle asidik sindirim sonrası elde edilen çözeltilerde dahi organik artıkların varlığı, atomik ve kütle spektrometrik tekniklerde sinyal bastırılması veya spektral girişimler gibi problemlere yol açabilmektedir (Farah & Donangelo, 2006).

Eser elementler, kahve çekirdeklerinde genellikle $\mu g\ kg^{-1}$ veya daha düşük derişimlerde bulunur. Bu düşük konsantrasyon seviyeleri, doğrudan analiz yaklaşımlarında tayin sınırı (LOD) ve tayin edilebilirlik (LOQ) açısından önemli kısıtlamalar oluşturmaktadır. Özellikle ICP-OES ve AAS gibi tekniklerde, kompleks matrisin neden olduğu arka plan sinyali ve girişimler, eser elementlerin güvenilir şekilde tayin edilmesini zorlaştırmaktadır. ICP-MS yüksek hassasiyet sunmasına rağmen, yüksek çözünmüş katı madde içeriği ve karbon kaynaklı poliatomik iyonlar nedeniyle kahve matrisi için hala önemli matris etkilerine maruz kalabilmektedir. Matris etkisi, analit sinyalinin gerçek değerinden sapmasına neden olarak yanlış pozitif veya negatif sonuçlara yol açabilmektedir. Kahvede bulunan klor, karbon ve sülfür gibi elementler; ICP-MS analizlerinde poliatomik iyon oluşumunu tetikleyerek özellikle As, Cr ve Cd gibi elementlerin tayininde ciddi spektral örtüşmelere neden olmaktadır. Bu durum, analitik doğruluğun artırılması için matristen analitin seçici biçimde ayrılmasını zorunlu kılmaktadır (Wilschefski & Baxter, 2019; Bulska & Wagner 2016).

Ön-zenginleştirme işlemleri, yalnızca matris etkilerinin azaltılmasını değil, aynı zamanda analitin ölçülebilirliğinin artırılmasını da sağlamaktadır. Zenginleştirme faktörünün artırılması sayesinde, eser elementlerin düşük derişimlerde dahi yüksek hassasiyetle tayin edilmesi mümkün hale gelmektedir. Ayrıca ön-zenginleştirme, örnek hacminin azaltılması ve analitik cihazlara verilen toplam yükün düşürülmesi açısından da avantaj sağlamaktadır (Camel, 2003). Geleneksel ayırma ve zenginleştirme yöntemleri (klasik sıvı-sıvı ekstraksiyon ve katı faz ekstraksiyonu gibi) genellikle yüksek miktarda organik çözücü tüketimi, uzun işlem süreleri ve düşük çevresel uyumluluk gibi dezavantajlara sahiptir. Bu durum, özellikle yeşil analitik kimya yaklaşımının ön plana çıktığı günümüzde alternatif yöntemlerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır (Spietelun vd., 2014).

Bu bağlamda mikroekstraksiyon teknikleri, kahve gibi karmaşık gıda matrislerinde eser element analizine yönelik etkili bir çözüm sunmaktadır. Minimal çözücü kullanımı, yüksek zenginleştirme faktörü, kısa denge süresi ve seçicilik avantajları sayesinde mikroekstraksiyon yöntemleri, toksik eser elementlerin tayininde geleneksel yöntemlere kıyasla önemli üstünlükler sağlamaktadır. Ancak her mikroekstraksiyon tekniğinin kahve matrisi açısından sunduğu avantaj ve sınırlılıklar farklılık göstermekte olup, yöntem seçimi analitik hedeflere ve matris özelliklerine göre dikkatle yapılmalıdır.

3.1. Mikroekstraksiyon Tekniklerinin Üstünlükleri

Geleneksel ayırma ve ön-zenginleştirme yöntemleri, özellikle sıvı-sıvı ekstraksiyon (LLE) ve katı faz ekstraksiyonu (SPE), eser element analizlerinde uzun yıllardır yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler genellikle yüksek miktarda toksik organik çözücü tüketimi, çok adımlı işlem basamakları, uzun analiz süresi ve nispeten düşük zenginleştirme faktörü gibi dezavantajlara sahiptir (Camel, 2003). Kahve çekirdekleri gibi yüksek organik içerikli ve kompleks gıda matrislerinde bu dezavantajlar daha da belirgin hale gelmektedir.

Mikroekstraksiyon teknikleri, klasik yöntemlere kıyasla ekstraksiyon ortamının hacmini mikrolitre seviyelerine indirerek çözücü tüketimini ciddi biçimde azaltmaktadır. Bu durum, yalnızca maliyet avantajı sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda yeşil analitik kimya ilkeleriyle de güçlü bir uyum göstermektedir (Gałuszka vd., 2013; Tobiszewski vd., 2009). Özellikle çevresel etkiyi azaltmaya ilişkin eğilim düşünüldüğünde bu teknikler analitik açıdan daha cazip hale getirmiştir. Mikroekstraksiyon yöntemlerinin bir diğer önemli üstünlüğü, yüksek zenginleştirme faktörleri sunabilmeleridir. Ekstraksiyon fazının küçük hacmi sayesinde, eser elementler kısa sürede yoğunlaştırılabilmekte ve böylece düşük tayin sınırlarına ulaşılabilmektedir. Bu özellik, kahve çekirdeklerinde $\mu g\ kg^{-1}$ seviyelerinde bulunan toksik elementlerin ICP-OES ve AAS gibi tekniklerle dahi güvenilir biçimde tayin edilmesine olanak tanımaktadır (Anthemidis & Ioannou, 2009; Dadfarnia & Haji Shabani, 2010). Seçicilik açısından değerlendirildiğinde, mikroekstraksiyon teknikleri kompleksleştirici ajanlar veya fonksiyonel ekstraksiyon fazları kullanılarak analite özgü ayırma imkanı sunmaktadır. Bu durum, kahve matrisinde bulunan lipidler, proteinler ve polifenoller gibi girişimci bileşenlerin etkili biçimde uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Pena-Pereira vd., 2009).

Analiz süresi açısından mikroekstraksiyon teknikleri önemli avantajlara sahiptir. Denge süresinin kısa olması ve basit işlem basamakları sayesinde, yüksek örnek sayısının kısa sürede analiz edilmesi mümkün olmaktadır. Bu durum, rutin gıda kontrol analizlerinde ve izleme çalışmalarında mikroekstraksiyon yöntemlerinin tercih edilmesini desteklemektedir (Psillakis & Kalogerakis, 2003; Dadfarnia & Shabani, 2010).

Kahve çekirdekleri özelinde değerlendirildiğinde, mikroekstraksiyon tekniklerinin sunduğu düşük matris yükü avantajı dikkat çekmektedir. Ekstraksiyon sonrası elde edilen temiz ekstraktlar, enstrümantal sistemlerin korunmasına katkı sağlamakta ve cihaz bakım ihtiyacını azaltmaktadır. Ayrıca mikroekstraksiyonun sindirim adımıyla birlikte veya sindirim sonrası uygulanabilmesi, yöntemin esnekliğini artırmaktadır.Tüm bu avantajlara rağmen mikroekstraksiyon tekniklerinin bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Ekstraksiyon koşullarının optimizasyon gereksinimi, analit türüne ve matrise özgü yöntem geliştirme ihtiyacı ve bazı tekniklerde mekanik kararlılık sorunları bu sınırlılıklar arasında yer almaktadır. Ancak literatürde rapor edilen çalışmalar, uygun yöntem seçimi ve optimizasyon ile bu dezavantajların büyük ölçüde aşılabildiğini göstermektedir (Al-Saidi & Emara, 2014).

4. MİKROEKSTRAKSİYON TEKNİKLERİ

4.1. Sıvı-Sıvı Mikroekstraksiyonu (LLME)

LLME, analitin sulu fazdan mikrolitre hacmindeki organik bir faza aktarılmasına dayanan, klasik sıvı-sıvı ekstraksiyonun miniaturize edilmiş bir türevidir. Metal iyonlarının LPME ile ekstraksiyonu çoğunlukla hidrofobik bir metal-kompleks oluşumunu gerektirir; bu nedenle ekstraksiyon verimi, kullanılan kompleksleştirici ajanın kimyasal yapısı, pH ve iyonik kuvvet gibi parametrelere güçlü biçimde bağlıdır (Dadfarnia & Haji Shabani, 2010). Ekstraksiyon fazının hacminin son derece küçük olması, teorik olarak yüksek zenginleştirme faktörlerine ulaşılmasını mümkün kılmaktadır.

Analitik açıdan LLME'nin en önemli avantajlarından biri, basit donanım gereksinimi ve farklı enstrümantal tekniklerle (FAAS, ETAAS, ICP-OES) doğrudan uyumlu ekstraktlar üretmesidir. Ancak yöntemin performansı, özellikle kompleks gıda matrislerinde, ko-ekstrakte olan organik bileşikler nedeniyle sınırlanabilmektedir. Kahve çekirdekleri, yüksek miktarda fenolik bileşik ve lipid içeriğine sahip olduğundan, bu bileşenlerin organik ekstraksiyon fazına taşınması analitik seçiciliği azaltabilmektedir. Bu nedenle kahve çekirdeklerine yönelik LLME uygulamalarında genellikle asidik sindirim sonrası ekstraksiyon tercih edilmekte veya ilave clean-up adımlarıyla matris etkisi azaltılmaktadır (Sarafraz-Yazdi & Amiri, 2010).

4.2. Oyuk Fiber Sıvı Faz Mikroekstraksiyonu

HF-LPME, LLME'nin analitik performansını artırmak amacıyla geliştirilmiş bir yöntem olup, organik ekstraksiyon fazının gözenekli bir polimer fiberin (genellikle polipropilen) duvarlarında tutulmasına dayanmaktadır. Bu yapı, ekstraksiyon fazı ile örnek çözeltisi arasında fiziksel bir bariyer oluşturarak matris bileşenlerinin geçişini sınırlandırmaktadır (Pedersen-Bjergaard & Rasmussen, 1999). Analit, difüzyon mekanizmasıyla fiber duvarından geçerek ekstraksiyon fazına taşınır.

HF-LPME'nin en belirgin üstünlüğü, yüksek seçicilik ve düşük matris girişimidir. Fiber yapısı, özellikle kahve gibi pigment, lipid ve yüksek molekül ağırlıklı organik bileşenler içeren matrislerde temiz ekstrakt elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca ekstraksiyon fazının mekanik olarak korunması, klasik LPME'ye kıyasla daha yüksek tekrarlanabilirlik sağlamaktadır (Psillakis & Kalogerakis, 2003). Bununla birlikte HF-LPME'nin dezavantajı, ekstraksiyon kinetiğinin nispeten yavaş olması ve dengeye ulaşma süresinin uzunluğudur. Ancak kahve çekirdekleri gibi matris etkisinin kritik olduğu örneklerde, bu dezavantaj genellikle kabul edilebilir bulunmakta ve yöntem güvenilirlik açısından tercih edilmektedir. Literatürde HF-LPME'nin gıda ve bitkisel örneklerde eser metal tayini için en dengeli mikroekstraksiyon tekniklerinden biri olduğu vurgulanmaktadır (Dadfarnia & Haji Shabani, 2010).

4.3. Tek Damla Mikroekstraksiyonu

Tek damla mikroekstraksiyonu (SDME), mikrolitre seviyesindeki tek bir organik damlanın sulu örnek fazı ile temas ettirilmesi esasına dayanan en basit mikroekstraksiyon tekniklerinden biridir. Analit, konsantrasyon gradyanı doğrultusunda damla içerisine difüze olur ve belirli bir süre sonunda dengeye ulaşır (Jeannot & Cantwell, 1996).

Yöntemin temel avantajı, son derece düşük çözücü tüketimi ve basit deneysel kurulumdur. Ancak SDME'nin analitik performansı, damla stabilitesine güçlü biçimde bağlıdır. Karıştırma hızı, sıcaklık ve örnek viskozitesi gibi parametreler damlanın kopmasına veya hacim kaybına neden olabilmektedir; bu durum yöntem tekrarlanabilirliğini ciddi biçimde sınırlamaktadır (Psillakis & Kalogerakis, 2003). Kahve çekirdeği ekstraktları genellikle yüksek viskoziteye ve yoğun organik içeriğe sahip olduğundan, SDME bu örnek grubu için analitik açıdan en az uygun mikroekstraksiyon tekniklerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Literatürde SDME'nin kahve ve benzeri gıda matrislerinde nadiren tercih edilmesinin temel nedeni, matris kaynaklı mekanik kararsızlık ve düşük analitik güvenilirliktir.

4.4. Dağıtıcı Sıvı-Sıvı Mikroekstraksiyonu

DLLME, ekstraksiyon ve dağıtıcı çözücünün sulu örnek fazına ani enjeksiyonu ile mikroskobik ekstraksiyon damlacıklarının oluşmasına dayanmaktadır. Bu yapı, fazlar arası temas alanını dramatik biçimde artırarak çok kısa sürede dengeye ulaşılmasını sağlar (Rezaee vd., 2006).

DLLME, yüksek zenginleştirme faktörleri ve kısa ekstraksiyon süresi nedeniyle eser element analizlerinde en yaygın kullanılan mikroekstraksiyon tekniklerinden biridir. Özellikle sindirim sonrası elde edilen kahve çözeltilerinde, metal iyonlarının hızlı ve etkili biçimde ön-zenginleştirilmesine olanak tanımaktadır. Bununla birlikte dağıtıcı çözücü kullanımı, yeşil kimya perspektifinden bir sınırlılık olarak değerlendirilmektedir (Anthemidis, 2019). Kahve çekirdekleri bağlamında DLLME'nin başarısı, uygun kompleksleştirici seçimiyle doğrudan ilişkilidir. Yanlış reaktif seçimi, fenolik bileşiklerin ve diğer organik matris bileşenlerinin birlikte ekstrakte edilmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle DLLME, kahve matrisi için yüksek performanslı ancak dikkatli optimizasyon gerektiren bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

4.5. Katı Faz Mikroekstraksiyonu (SPME)

Katı faz mikroekstraksiyonu (SPME), fonksiyonelleştirilmiş bir fiber kaplama üzerine analitin adsorpsiyonu veya absorbsiyonu esasına dayanan, çözücüsüz bir mikroekstraksiyon tekniğidir (Arthur & Pawliszyn, 1990). Metal iyonlarının ekstraksiyonu için fiber kaplamalarının özel ligandlarla fonksiyonelleştirilmesi gerekmektedir. SPME'nin en önemli avantajları arasında çözücü kullanılmaması, düşük matris girişimi ve otomasyon imkanı yer almaktadır. Bu özellikler, özellikle gıda örneklerinde analitik tekrarlanabilirlik ve laboratuvar güvenliği açısından önemlidir. Ancak fiber kaplamalarının maliyeti ve sınırlı kullanım ömrü, yöntemin yaygınlığını kısıtlayan faktörlerdir. Kahve çekirdekleri için SPME, özellikle metal türleşme çalışmaları ve hedefli analizler açısından dikkat çekici bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte toplam metal tayini için fiber yüzeyinin uygun biçimde modifiye edilmesi gerekmekte olup, yöntem geliştirme süreci diğer mikroekstraksiyon tekniklerine kıyasla daha karmaşıktır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

5. SONUÇ

Kahve çekirdekleri, dünya genelinde yaygın tüketimi nedeniyle gıda güvenliği açısından kritik öneme sahip bir bitkisel matrisi temsil etmektedir. Toprak özellikleri, çevresel kirlenme ve tarımsal uygulamalar gibi faktörler, kahve çekirdeklerinde Pb, Cd, As, Cr, Ni ve Hg gibi toksik eser elementlerin birikimine neden olabilmektedir. Bu elementlerin düşük derişimlerde dahi uzun süreli maruziyet sonucunda ciddi sağlık riskleri oluşturması, kahvede eser element analizinin analitik hassasiyet ve doğruluk açısından titizlikle yürütülmesini zorunlu kılmaktadır. Kahve çekirdeklerinin yüksek organik içerikli ve kompleks yapısı, doğrudan enstrümantal analizlerde belirgin matris etkilerine yol açmakta ve bu durum ayırma ve ön-zenginleştirme adımlarını analizin vazgeçilmez bir aşaması haline getirmektedir. Özellikle ICP-MS ve AAS gibi hassas tekniklerde dahi, kahve matrisi kaynaklı spektral ve fiziksel girişimler analitik sonuçların güvenilirliğini sınırlayabilmektedir. Bu bağlamda mikroekstraksiyon teknikleri, hem matris etkisinin azaltılması hem de tayin sınırlarının düşürülmesi açısından etkili bir çözüm sunmaktadır.Genel olarak mikroekstraksiyon teknikleri, geleneksel ayırma ve zenginleştirme yöntemlerine kıyasla daha düşük çözücü tüketimi, daha kısa analiz süresi ve yeşil analitik kimya ilkeleriyle daha yüksek uyum göstermektedir. Bu özellikler, kahve gibi yaygın tüketilen gıdaların rutin kalite kontrol analizlerinde mikroekstraksiyon temelli yaklaşımların giderek daha fazla benimsenmesini desteklemektedir. Bununla birlikte yöntem seçiminin, hedef elementler, kullanılan enstrümantal teknik ve kahve matrisinin özgün özellikleri dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla, mikroekstraksiyon teknikleri kahve çekirdeklerinde toksik eser elementlerin analitik tayini için güçlü araçlar sunmaktadır. Özellikle kahve çekirdeği gibi organik ve inorganik bileşenlerce kalabalık matrise sahip örnek gruplarından farklı türlerin mikroekstraksiyonundaki başarılar göz önünde bulundurulduğunda, mikroekstraksiyon tekniklerin farklı örnek grupları için de vazgeçilmez araçlar olduğu rahatlıkla söylenebilir.

TEŞEKKÜR: Mevcut çalışma, F-2024-704 kodlu araştırma projesi kapsamında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Alloway, B. J. (Ed.). (2012). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Vol. 22). Springer Science & Business Media.

Al-Saidi, H. M., & Emara, A. A. (2014). The recent developments in dispersive liquid-liquid microextraction for preconcentration and determination of inorganic analytes. Journal of Saudi Chemical Society, 18(6), 745-761.

Anthemidis, A. N., & Ioannou, K. I. G. (2009). Recent developments in homogeneous and dispersive liquid-liquid extraction for inorganic elements determination. A review. Talanta, 80(2), 413-421.

Arthur, C. L., & Pawliszyn, J. (1990). Solid phase microextraction with thermal desorption using fused silica optical fibers. Analytical chemistry, 62(19), 2145-2148.

ATSDR (2020). Toxicological profile for lead. Agency for Toxic Substances and Disease Registry.

Bulska, E., & Wagner, B. (2016). Quantitative aspects of inductively coupled plasma mass spectrometry. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *374*(2079), 20150369.

Camel, V. (2003). Solid phase extraction of trace elements. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 58(7), 1177-1233.

Clarkson, T. W., & Magos, L. (2006). The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical reviews in toxicology*, *36*(8), 609-662.

Dadfarnia, S., & Shabani, A. M. H. (2010). Recent development in liquid phase microextraction for determination of trace level concentration of metals—A review. Analytica Chimica Acta, 658(2), 107-119.

EFSA, E. (2009). Panel on contaminants in the food chain (CONTAM); scientific opinion on lead in food. EFSA J, 7(10), 1351.

Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. Brazilian journal of plant physiology, 18, 23-36.

Gałuszka, A., Migaszewski, Z., & Namieśnik, J. (2013). The 12 principles of green analytical chemistry and the SIGNIFICANCE mnemonic of green analytical practices. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 50, 78-84.

Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. British medical bulletin, 68(1), 167-182.

Järup, L., & Åkesson, A. (2009). Current status of cadmium as an environmental health problem. *Toxicology and applied pharmacology*, *238*(3), 201-208.

Jeannot, M. A., & Cantwell, F. F. (1996). Solvent microextraction into a single drop. Analytical chemistry, 68(13), 2236-2240.

Kotaś, J., & Stasicka, Z. J. E. P. (2000). Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environmental pollution*, *107*(3), 263-283.

Oliveira, M., Casal, S., Morais, S., Alves, C., Dias, F., Ramos, S., ... & Oliveira, M. B. P. (2012). Intra-and interspecific mineral composition variability of commercial instant coffees and coffee substitutes: Contribution to mineral intake. *Food Chemistry*, *130*(3), 702-709.

Pedersen-Bjergaard, S., & Rasmussen, K. E. (1999). Liquid− liquid− liquid microextraction for sample preparation of biological fluids prior to capillary electrophoresis. Analytical chemistry, 71(14), 2650-2656.

Pena-Pereira, F., Lavilla, I., & Bendicho, C. (2009). Miniaturized preconcentration methods based on liquid-liquid extraction and their application in inorganic ultratrace analysis and speciation: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, *64*(1), 1-15.

Psillakis, E., & Kalogerakis, N. (2003). Developments in liquid-phase microextraction. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 22(9), 565-574.

Rezaee, M., Assadi, Y., Hosseini, M. R. M., Aghaee, E., Ahmadi, F., & Berijani, S. (2006). Determination of organic compounds in water using dispersive liquid–liquid microextraction. *Journal of Chromatography a*, *1116*(1-2), 1-9.

Sarafraz-Yazdi, A., & Amiri, A. (2010). Liquid-phase microextraction. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 29(1), 1-14.

Spietelun, A., Marcinkowski, Ł., de la Guardia, M., & Namieśnik, J. (2014). Green aspects, developments and perspectives of liquid phase microextraction techniques. Talanta, 119, 34-45.

Szefer, P., & Grembecka, M. (2022). Bromatological, analytical and chemometric assessment of animal and plant foods based on mineral composition. European Journal of Translational and Clinical Medicine, 5(1), 77-106.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology, 133-164.

Tobiszewski, M., Mechlińska, A., Zygmunt, B., & Namieśnik, J. (2009). Green analytical chemistry in sample preparation for determination of trace organic pollutants. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *28*(8), 943-951.

Welna, M., & Szymczycha-Madeja, A. (2014). Effect of sample preparation procedure for the determination of As, Sb and Se in fruit juices by HG-ICP-OES. *Food Chemistry*, *159*, 414-419.

Wilschefski, S. C., & Baxter, M. R. (2019). Inductively coupled plasma mass spectrometry: introduction to analytical aspects. The Clinical Biochemist Reviews, 40(3), 115.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TOKSİK ESER ELEMENT TAYİNİNDE YENİ YEŞİL ÇÖZÜCÜ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

USE OF NEW GREEN SOLVENT SYSTEMS İN TOXİC TRACE ELEMENT DETERMİNATİON

Prof. Dr. ADİL ELİK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, elik@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-3942-4711

Prof. Dr. Nail ALTUNAY

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, naltunay@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-9053-7570

Arş. Gör. Seçkin FESLİYAN

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, seckinf@cumhuriyet.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-3584-3868

ÖZET

Toksik eser elementler (TEE'ler), insan sağlığı ve çevre üzerinde oluşturdukları akut ve kronik toksik etkiler nedeniyle çevre, gıda ve biyolojik sistemlerde düzenli olarak izlenmesi gereken inorganik kirleticilerdir. Arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum ve cıva gibi elementler, biyobirikim özellikleri, uzun yarı ömürleri ve düşük konsantrasyonlarda dahi toksisite göstermeleri nedeniyle uluslararası düzenlemelerde sınır değerleri belirlenen türler arasındadır. Bu elementlerin doğru, güvenilir ve düşük tespit limitlerinde tayini çoğunlukla matris etkileri nedeniyle doğrudan analizle mümkün olmamakta ve bu nedenle gelişmiş numune hazırlama ve zenginleştirme yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mikroekstraksiyon teknikleri, minimal çözücü gereksinimleri, yüksek yüzey alanı-faz temas etkinliği ve kısa analiz süreleri sayesinde güncel analitik kimyada TEE tayininde önemli bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Bununla birlikte, geleneksel mikroekstraksiyon çözücüleri çoğu zaman kloroform, karbon tetraklorür, toluen gibi toksik, uçucu ve çevresel açıdan düşük sürdürülebilirliğe sahip organik çözücülere dayanır. Yeşil kimyanın 12 prensibi doğrultusunda geliştirilen yeni çözücü sistemleri, özellikle derin ötektik çözücüler (DES'ler) ve sürfaktan temelli çözücüler, analitik numune hazırlamada sürdürülebilir alternatifler olarak ön plana çıkmaktadır. Son yıllarda literatürde dikkat çeken yenilikçi bir yaklaşım, DES'lerin sürfaktan ortamlarında hazırlanması ile oluşturulan yeni çözücü sistemleridir. Surfaktan destekli DES sistemleri, hem DES'in yeşil çözücü karakteri hem de sürfaktanların faz davranışı kontrol eden üstün özellikleri sayesinde yüksek zenginleştirme faktörleri, yüksek ekstrakssiyon verimi ve daha düşük çözücü miktarı kullanımı gibi avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışma, toksik eser elementlerin tayinininin önemine analitik ve çevresel açıdan dikkat çekmekte ve bu tür çalışmalarda mikroekstraksiyon tekniklerine duyulan gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca bu çalışmada, DES-sürfaktan çözücü sisteminin toksik eser element tayininde potansiyel kullanımını da ele alınarak okuyucuya geniş perspektifte bilgi sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Eser elementler, toksik ağır metaller, yeşil çözücüler, surfaktan, derin ötektik çözücü

ABSTRACT

Toxic trace elements (TTEs) are inorganic contaminants that require regular monitoring in the environment, food, and biological systems due to their acute and chronic toxic effects on human health and the environment. Elements such as arsenic (As), lead (Pb), cadmium, and mercury are among the species for which limit values are set by international regulations due to their bioaccumulation properties, long half-lives, and toxicity even at low concentrations. Accurate, reliable, and low-detection determination of these elements is often impossible with direct analysis due to matrix effects, necessitating advanced sample preparation and enrichment approaches. Microextraction techniques have emerged as an important alternative for TTE determination in current analytical chemistry due to their minimal solvent requirements, high surface area-phase contact efficiency, and short analysis times. However, traditional microextraction solvents often rely on toxic, volatile, and environmentally unsustainable organic solvents such as chloroform, carbon tetrachloride, and toluene. New solvent systems developed in accordance with the 12 principles of green chemistry, particularly deep eutectic solvents (DESs) and surfactant-based solvents, are emerging as sustainable alternatives for analytical sample preparation. An innovative approach that has attracted attention in the literature in recent years is the preparation of DESs in surfactant media, resulting in novel solvent systems. Surfactant-supported DES systems offer advantages such as high enrichment factors, high extraction efficiencies, and lower solvent consumption, thanks to both the green solvent character of DESs and the superior phase behavior control properties of surfactants. This study highlights the importance of the determination of toxic trace elements from both analytical and environmental perspectives and highlights the need for microextraction techniques in such studies. Furthermore, this study addresses the potential use of the DES-surfactant solvent system in toxic trace element determination, providing the reader with a broader perspective.

Keywords: Trace elements, toxic heavy metals, green solvents, surfactant, deep eutectic solvent

1. GİRİŞ

Toksik eser elementler (TEE'ler), doğal jeokimyasal süreçlerin yanı sıra artan endüstriyel faaliyetler, madencilik, metal kaplama işlemleri, atık su deşarjı, tarım kimyasallarının kullanımından dolayı çevrede giderek daha yüksek konsantrasyonlarda bulunan inorganik kirleticilerdir. Arsenik (As), kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), nikel (Ni) ve krom (Cr) gibi türleri içeren TEE'ler, düşük derişimlerde bile toksikolojik etkilere neden olmaları ve biyobirikim eğilimleri nedeniyle hem insan sağlığı hem de çevre açısından endişe verici olarak değerlendirilmektedir. Bu elementlerin çoğu, farklı oksidasyon basmaklarında birden fazla kimyasal tür oluşturabilmektdir. Ayrıca bu elementler toksisite, biyoyararlanım ve hareketlilik bakımından birbirinden önemli farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla, TEE'lerin sadece toplam miktarının değil, aynı zamanda kimyasal türlerinin belirlenmesi de analitik kimyada oldukça önemlidir (Alloway, 2013; Smith vd., 1998).

Günümüzde çevre, gıda, biyolojik ve endüstriyel örneklerde TEE seviyelerinin güvenilir şekilde tayin edilmesi, risk değerlendirmenin, mevzuata uyumun ve halk sağlığının temel gerekliliklerinden biri haline gelmiştir. Ancak, bu elementlerin çoğu çok karmaşık matrislerde çok düşük derişimlerde bulunur. Organik madde varlığı, tuzluluk, endüstriyel koruyucu gibi türlerin mevcudiyeti, protein veya lipid içeriği gibi matris bileşenleri gelişmiş analitik enstrümanlarla (ICP-MS, ICP-OES ve AAS gibi) dahi iyonlaşmayı bastırarak veya analitik sinyal oluşumuna girişim yaparak önemli analitik hatalara neden olabilir. Bu nedenle analitik süreçlerde matris kaynaklı girişimleri azaltmak, analit derişimini artırmak ve seçiciliği geliştirmek amacıyla uygun numune hazırlama ve zenginleştirme adımlarının uygulanması zorunludur.

Numune hazırlama aşaması analitik kimyanın genelde en zaman alan, hata oluşturmaya en açık ve çevresel etkisi en yüksek basamağıdır. Geleneksel sıvı-sıvı ekstraksiyon gibi teknikler yüksek miktarda uçucu ve toksik organik çözücü gerektirdiğinden, çevresel sürdürülebilirlik sağlık ve laboratuvar güvenliği açısından önemli dezavantajlara sahiptir. Bu durum, son yirmi yılda "yeşil analitik kimya" anlayışının hayata geçirilme hızının artışını yol açmış ve düşük çözücü tüketen, çevre dostu ve enerji açısından verimli numune hazırlama tekniklerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Mikroekstraksiyon teknilkeri, düşük çözücü ihtiyacı, kısa analiz süresi ve yüksek zenginleştirme katsayıları ile özellikle TEE analizlerinde güçlü bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (Płotka-Wasylka, 2018).

Mikroekstraksiyon tekniklerinde hem çevresel hem de analitik açıdan daha güvenilir çözücü sistemlerine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu bağlamda derin ötektik çözücüler (DES), düşük toksisite, kolay sentezlenme, ayarlanabilir fizikokimyasal özellikleri ve geniş uygulama alanıyla yeşil çözücü kavramının merkezinde yer almaya başlamıştır. DES'ler, hidrojen bağı alıcı (HBA) ve hidrojen bağı verici (HBD) bileşenlerden oluşan, düşük erime noktası ve geniş kimyasal stabilite aralığına sahip alternatif çözücülerdir. Bileşenlerin biyouyumlu olması, çözücü tasarımının amaçlanan analite göre kolayca değiştirilebilmesi ve uçuculuklarının çok düşük olması, DES'leri mikroekstraksiyon için ideal hale getirmektedir.

Sürfaktanlar ise misel, mikroemülsiyon, vesikül gibi kendiliğinden oluşan nano ve mikroölçekli yapılara sahip olmaları nedeniyle analitik ekstraksiyonu doğrudan etkileyen dinamik faz sistemleri sunar. Sürfaktan ortamları, metal iyonlarının kompleksleşmesini, hidrofobik etkileşimlerle tutulmasını veya belirli türlerin seçici olarak diğer faza taşınmasını kolaylaştırabilir. Bu nedenle, özellikle metal iyonlarının ekstraksiyonunda sürfaktan bazlı çözücüler uzun süredir kullanılan etkin faz sistemleridir.

Son yıllarda literatürde dikkat çeken önemli bir gelişme ise DES'lerin sürfaktan ortamında hazırlanması veya DES-sürfaktan hibrit çözücü yapılarının analitik numune hazırlamada kullanılmasıdır. Surfaktan destekli DES sistemleri, DES'in avantajlarını sürfaktanların faz davranışını kontrol edici özellikleriyle birleştirmekte ve bu sayede daha yüksek ekstraksiyon verimi, artmış kütle transferi, daha iyi seçicilik, düşük çözücü tüketimi ve geliştirilebilir çevresel karakter gibi çok yönlü katkılar sunmaktadır. Surfaktan ortamındaki agregasyon yapıları, DES bileşenleriyle sinerjistik etkileşimler oluşturarak yeni faz davranışları, artmış çözünürlüğe sahip mikroortamlar ve analit-matris ayrımını kolaylaştıran yapısal düzenlemeler oluşturabilir. Bu çalışmada çevresel ve sağlık açıdan endişe doğuran ağır metallerin mikroekstraksiyonunda kullanılan yeşil çözücü sistemleri ele alınmış ve okuyucuya bu türlerin tayininde izlenen analitik sürecin aktarılması amaçlanmıştır.

2. TOKSİK ESER ELEMENTLER VE ETKİLERİ

Toksik eser elementler (TEE'ler), biyolojik sistemler için herhangi bir temel fizyolojik işlevi bulunmayan veya fizyolojik rollerinin çok dar bir konsantrasyon aralığıyla sınırlı olduğu, ancak bu aralığın üzerinde ciddi toksik etkiler gösteren metal türlerdir. Bu elementler çevrede doğal olarak bulunabilmekle birlikte, antropojenik faaliyetler sonucunda çevresel döngülerdeki konsantrasyonları önemli ölçüde artabilir. Endüstriyel üretim, enerji santralleri, metal işleme, madencilik, fosil yakıt kullanımı ve tarımsal uygulamalar TEE'lerin çevresel yayılımında başlıca kaynaklar arasında yer almaktadır. Bu elementlerin çevrede kalıcı olmaları ve biyolojik olarak parçalanamamaları, uzun vadeli ekotoksikolojik riskleri beraberinde getirmektedir.

En yaygın olarak incelenen toksik eser elementler arasında As, Pb, Cd, Hg, Cr, Ni ve Sb yer almaktadır. Arsenik, özellikle yeraltı sularında yüksek mobiliteye sahip olması nedeniyle içme suyu kaynaklarında ciddi bir kirletici olarak öne çıkmaktadır. İnorganik arsenik türleri (As(III) ve As(V)), organik arsenik bileşiklerine kıyasla çok daha yüksek toksisiteye sahiptir ve hücresel solunum mekanizmalarını inhibe ederek sitotoksik ve karsinojenik etkilere yol açabilmektedir (Smedley & Kinniburgh, 2002). Kurşun ise merkezi sinir sistemi üzerinde nörotoksik etkiler gösterir. Ayrıca, çocuklarda bilişsel gelişim bozuklukları ve yetişkinlerde kardiyovasküler hastalıklarla ilişkilendirilmektedir. Kurşunun kemik dokuda birikme eğilimi, maruziyetin kesilmesinden sonra dahi uzun süreli etkilerin devam etmesine neden olmaktadır. Kadmiyum, düşük konsantrasyonlarda dahi yüksek toksisite gösteren ve biyolojik yarı ömrü oldukça uzun olan bir elementtir. Özellikle böbrek ve karaciğer dokularında birikerek renal fonksiyon bozukluklarına, kemik mineral yoğunluğunda azalmaya ve osteoporoz benzeri etkilere yol açmaktadır. Kadmiyumun gıda zincirine tarımsal ürünler aracılığıyla kolaylıkla girebilmesi, bu elementi gıda güvenliği açısından önemli bir kirletici haline getirmektedir (Jaishankar vd., 2014). Cıva ise elementel, inorganik ve organik formlarıyla çevrede bulunabilmekte; özellikle metilcıva formu, lipofilik yapısı sayesinde biyolojik dokularda hızla birikerek güçlü nörotoksik etkilere neden olmaktadır. Balık ve deniz ürünleri yoluyla insanlara taşınabilen metilcıva, fetal gelişim üzerinde ciddi olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Krom ve nikel gibi bazı elementler eser miktarlarda biyolojik süreçlerde rol oynayabilse de, özellikle yüksek oksidasyon basamaklarındaki türleri belirgin toksisite göstermektedir. Altı değerlikli krom [Cr(VI)], hücre zarından kolaylıkla geçebilen ve güçlü oksitleyici özellikleri nedeniyle DNA hasarı ve mutajenik etkilere yol açan bir türdür. Nikel bileşikleri ise alerjik reaksiyonlar, solunum sistemi hastalıkları ve bazı kanser türleriyle ilişkilendirilmektedir. Antimon gibi daha az çalışılmış elementler dahi son yıllarda artan endüstriyel kullanımları nedeniyle çevresel ve biyolojik risk değerlendirmelerinde dikkat çekmeye başlamıştır (Tchounwou vd., 2012).

TEE'lerin toksik etkilerinin önemli bir yönü de kimyasal türlenmeye bağlı olarak değişkenlik göstermesidir. Aynı elementin farklı oksidasyon basamakları veya kompsleksleşme durumları, biyoyararlanım, hücre içi taşınım ve toksisite mekanizmaları açısından büyük farklılıklar gösterebilir. Bu durum, yalnızca toplam element miktarının değil, aynı zamanda elementin kimyasal formunun da analitik olarak belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Bu nedenle, TEE analizlerinde kullanılan analitik yaklaşımların hem yüksek duyarlılığa hem de seçiciliğe sahip olması kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, toksik eser elementlerin çevresel ve biyolojik sistemlerdeki davranışları, kalıcılıkları ve ciddi sağlık etkileri, bu türlerin izlenmesini ve kontrol altına alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu zorunluluk, analitik kimyada daha hassas, seçici ve çevreci tayin yöntemlerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir. Çzellikle mikroekstraksiyon tabanlı ve yeşil çözücü sistemlerinin kullanımına olan ilgiyi artırmıştır.

3.1. Toksik Eser Elementlerin Tayininde Kullanılan Analitik Enstrümanlar

Toksik eser elementlerin çevresel, gıdasa ve biyolojik sistemlerdeki varlığı, çoğu zaman çok düşük konsantrasyon seviyelerinde gerçekleşmekte ve bu durum analitik tayin sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Buna rağmen, bu elementlerin düşük derişimlerde dahi ciddi sağlık ve çevre riskleri oluşturması, yüksek duyarlılığa sahip analitik yöntemlerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Uluslararası düzenleyici kuruluşlar tarafından belirlenen maksimum izin verilebilir sınır değerler, genellikle $\mu g\ L^{-1}$ veya $ng\ L^{-1}$ düzeylerinde olup, bu sınırların güvenilir biçimde izlenebilmesi ancak gelişmiş analitik teknikler ve etkili numune hazırlama stratejileri ile mümkün olmaktadır (WHO, 2017). Analitik tayin gerekliliğinin temel nedenlerinden biri, toksik eser elementlerin çevrede heterojen dağılım göstermeleri ve farklı kimyasal formlarda bulunabilmeleridir. Aynı elementin farklı oksidasyon basamakları veya kompleksleşme durumları, toksisite ve biyoyararlanım açısından büyük farklılıklar gösterebildiğinden, analiz sonuçlarının doğru yorumlanabilmesi için yüksek seçiciliğe sahip yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, çevresel ve gıda örneklerinin karmaşık matris yapısı, organik bileşikler, tuzlar, proteinler, yağlar ve askıda katı maddeler gibi birçok potansiyel interferans kaynağını da beraberinde getirir. Bu tür matris bileşenleri, analitik sinyal üzerinde bastırma veya artırma etkisi oluşturarak ölçüm doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir.

Toksik eser elementlerin tayininde en yaygın kullanılan analitik enstrümantasyon teknikleri arasında atomik absorbsiyon spektrometrisi (AAS), indüktif eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometrisi (ICP-OES) ve indüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometrisi (ICP-MS) yer almaktadır. AAS teknikleri, özellikle tek element analizlerinde yüksek doğruluk ve nispeten düşük maliyet avantajı sunmaktadır. Alevli AAS (FAAS) orta düzey derişimler için uygunken, grafit fırınlı AAS (GFAAS) çok daha düşük tespit limitlerine ulaşılmasına olanak tanır. Hidrit oluşturma ve soğuk buhar teknikleri ise arsenik ve cıva gibi uçucu türlerin seçici tayininde yaygın olarak kullanılmaktadır (Welz & Sperling, 2008). ICP-OES, çoklu element analiz kabiliyeti ve geniş doğrusal aralığı sayesinde çevresel ve endüstriyel numunelerde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, ICP-MS, ultra iz seviyelerinde tespit limiti sağlaması, izotopik analiz imkanı ve hızlı çoklu element ölçümü gibi üstün özellikleri nedeniyle toksik eser element analizlerindeki güvenilirliği ile yüksek kabul görmektedir. Ancak ICP-MS analizlerinde de yüksek tuzluluk, organik matris içeriği ve interferanslar gibi sorunlar, numune hazırlama aşamasında ek işlemleri zorunlu kılabilmektedir (Hou & Jones, 2000).

Tüm bu analitik tekniklerin ortak bir sınırlaması, karmaşık matrislerden kaynaklanan girişimlerin ölçüm doğruluğunu ve hassasiyetini düşürmesidir. Bu nedenle, toksik eser

elementlerin analitik tayininde ayırma ve zenginleştirme basamakları, analitik sürecin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Numune hazırlama aşamasında uygulananetkili bir zenginleştirme yöntemi, hem analit derişimini artırarak tespit limitlerini iyileştirmekte hem de matris bileşenlerinin analitik sinyal üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır. Bu bağlamda, mikroekstraksiyon teknikleri, düşük çözücü tüketimi, yüksek zenginleştirme faktörleri ve çevreci yönleri sayesinde toksik eser element analizlerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

4. MİKROEKSTRAKSİYONUN GEREKLİLİĞİ

Toksik eser elementlerin analitik tayininde karşılaşılan en önemli zorluklardan biri, analiz edilecek numunelerin çoğunlukla karmaşık ve heterojen matris yapısına sahip olmasıdır. Çevresel örnekler (toprak, yüzey ve yeraltı suları), gıda ürünleri ve biyolojik numuneler, farklı organik maddeler, tuzlar, proteinler, lipidler, karbonhidratlar ve çeşitli inorganik iyonlar gibi çok sayıda bileşen içermektedir. Bu matris bileşenleri, analitik ölçüm sırasında analit sinyalini bozarak sonuçların doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini olumsuz yönde etkileyebilir. Özellikle ICP-MS ve ICP-OES gibi plazma tabanlı tekniklerde, yüksek tuzluluk ve organik yük, plazma kararlılığını bozarak iyonlaşma verimini düşürmekte ve önemli ölçüm hatalarına yol açabilmektedir (Todoli & Mermet, 2008). Matris etkilerinin yol açtığı bu problemler, toksik eser elementlerin çoğu zaman çok düşük konsantrasyonlarda bulunmasıyla daha da kritik hale gelmektedir. Analit derişiminin tespit limitlerine yakın olduğu durumlarda, küçük sinyal değişimleri dahi yanlış pozitif veya yanlış negatif sonuçlara neden olabilir. Bu nedenle, analitik süreçlerde yalnızca gelişmiş enstrümantasyon kullanımı yeterli olmayıp numune hazırlama aşamasında analitlerin matristen ayrılması ve zenginleştirilmesi zorunlu hale gelmektedir. Ayırma ve zennginleştirme adımları, hem matris etkisinin azaltılmasını hem de analitlerin daha uygun bir kimyasal ortamda tespitini sağlayarak analitik güvenilirliği artırmaktadır.

Geleneksel ayırma ve zenginleştirme teknikleri uzun işlem süreleri, yüksek çözücü tüketimi ve çok adımlı prosedürler nedeniyle birtakım dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerin çoğu, çevre ve sağlık açısından riskli organik çözücülerin yoğun kullanımını gerektirmektedir. Son yıllarda geliştirilen mikroekstraksiyon teknikleri, bu sınırlamaları aşmak amacıyla ortaya çıkmış ve analitik kimyada sürdürülebilir bir alternatif olarak kabul görmüştür. Mikroekstraksiyon teknikleri, çok küçük hacimlerde çözücü kullanarak analitlerin etkili şekilde ekstrakte edilmesini sağlayan bir yaklaşım olup, yüksek zenginleştirme faktörleri ve kısa denge süreleriyle dikkat çekmektedir. Dağıtıcısıvı-sıvı mikroekstraksiyonu (DLLME), katı faz mikroekstraksiyonu (SPME), hollow-fiber sıvı faz mikroekstraksiyon (HF-LPME) ve bulutlanma noktası ekstraksiyonu (CPE) gibi yöntemler, farklı analitik gereksinimlere cevap verebilen mikroekstraksiyon stratejileri arasında yer almaktadır. Bu tekniklerin ortak özelliği, analit-faz temas yüzeyinin artırılması ve kütle transferinin hızlandırılması yoluyla yüksek ekstraksiyon verimlerine ulaşılmasıdır. Ancak bu yöntemlerin etkinliği büyük ölçüde kullanılan mikroekstraksiyon çözücüsünün kimyasal özelliklerine bağlıdır (Spietelun vd., 2014).

Mikroekstraksiyon çözücülerinin seçiminde analitlerle etkileşim (analit ve çözücü veya katı fazın yapısı) matris bileşenlerine karşı seçicilik, faz ayırma davranışı ve çevresel sürdürülebilirlik gibi kriterler belirleyici olmaktadır. Geleneksel mikroekstraksiyon çözücülerinin önemli bir kısmı hala uçucu organik bileşiklerden oluşmakta ve bu durum yeşil analitik kimya prensipleriyle çelişmektedir. Bu nedenle, mikroekstraksiyon süreçlerinde çevreci, düşük toksisiteli ve geri dönüştürülebilir çözücü sistemlerinin kullanımı, güncel araştırmaların odağında yer almaktadır (Kokosa, 2013).

Derin ötektik çözücüler (DES) ve sürfaktan temelli çözücü sistemleri, mikroekstraksiyon uygulamalarında çevre dostu alternatifler olarak öne çıkmaktadır. DES'lerin ayarlanabilir polaritesi ve yüksek çözme kabiliyeti, toksik eser elementlerin çeşitli kimyasal formlarının ekstraksiyonunu mümkün kılarken, sürfaktanların oluşturduğu misel ve agregasyon yapıları, ekstraksiyon verimini artıran mikroortamlar sağlamaktadır. Bu iki yaklaşımın birlikte kullanımı, analitik performans ve çevresel sürdürülebilirliğin aynı anda optimize edilebilmesine olanak tanımaktadır.

4.1. Mikroekstraksiyonda Yeşil Çözücüler ve Yeni Çözücü Sistemi

Mikroekstraksiyon tekniklerinin analitik kimyada yaygınlaşması, çözücü kullanımının miktar ve tür açısından yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmıştır. Numune hazırlama aşamasında kullanılan çözücülerin toksisitesi, uçuculuğu, biyolojik bozunabilirliği ve geri kazanılabilirliği, analitik prosedürlerin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Geleneksel çözücüler, bazıları hala mikroekstraksiyon tekniklerinde hala kullanılıyor, arasında yer alan kloroform, karbon tetraklorür, diklorometan ve toluen gibi organik çözücüler; yüksek ekstraksiyon verimi sağlasalar dahi insan sağlığı ve çevre açısından ciddi riskler barındırmaktadır. Bu durum, yeşil kimyanın 12 temel prensibi doğrultusunda daha sürdürülebilir çözücü sistemlerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir (Anastas & Warner, 1998).

Yeşil analitik kimya yaklaşımı, yalnızca analiz aşamasında değil, aynı zamanda numune hazırlama süreçlerinde de çözücü tüketiminin minimize edilmesini, toksik bileşenlerin kullanımının azaltılmasını ve enerji verimliliğinin artırılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda, mikroekstraksiyon teknikleri doğaları gereği yeşil kimya ilkeleriyle uyumlu olmakla birlikte, kullanılan çözücülerin kimyasal özellikleri bu uyumu doğrudan belirlemektedir. Son yıllarda, iyonik sıvılar, bitkisel yağlar, süperkritik akışkanlar, biyo-esaslı çözücüler ve derin ötektik çözücüler, manyetik DES ve IL'ler, supramoleküler çözücüler gibi alternatif çözücü sistemleri mikroekstraksiyon uygulamalarında önerilmiştir. Bu çözücülerin ortak özelliği, düşük uçuculuk, ayarlanabilir çözme kabiliyeti ve çevresel açıdan daha güvenli profiller sunmalarıdır.

Derin ötektik çözücüler (DES'ler), hidrojen bağı alıcı (HBA) ve hidrojen bağı verici (HBD) bileşenlerin belirli molar oranlarda karıştırılmasıyla oluşan önemli çözücülerdir. DES'lerin erime noktası bileşenlerinin her birinden daha düşük olma özelliğindedir. DES'lerin sentezi genellikle basit karıştırma ve ısıtma işlemleriyle gerçekleştirilebilmekte, karmaşık saflaştırma adımlarına ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu özellikleri, DES'leri enerji tüketimi açısından avantajlı kılmakta ve yeşil kimya prensipleriyle uyumlu hale getirmektedir. Ayrıca DES bileşenlerinin çoğunun kolin klorür, organik asitler, şekerler ve amino asitler gibi biyouyumlu maddelerden seçilebilmesi, bu çözücülerin toksikolojik açıdan daha güvenli olmasını sağlamaktadır (Abbott vd., 2003). DES'lerin mikroekstraksiyon çözücüsü olarak tercih edilmesinin bir diğer nedeni, kimyasal özelliklerinin kolaylıkla ayarlanabilir olmasıdır. Bileşen seçimi ve molar oranların değiştirilmesiyle DES'in polaritesi, viskozitesi ve hidrojen bağlama kapasitesi kontrol edilebilmekte ve böylece hedef analitlere özgü çözücü tasarımı mümkün olmaktadır. Bu özellik, özellikle farklı oksidasyon basamaklarına veya kompleksleşme durumlarına sahip toksik eser elementlerin seçici ekstraksiyonunda önemli bir avantaj sunmaktadır. Bununla birlikte, bazı DES türlerinin yüksek viskoziteleri ve sınırlı kütle transferi hızları, mikroekstraksiyon uygulamalarında kinetik açıdan dezavantaj oluşturabilmektedir.

Sürfaktan temelli çözücü sistemleri ise mikroekstraksiyonda farklı bir yeşil yaklaşım sunmaktadır. Sürfaktanlar, belirli bir kritik misel konsantrasyonunun (CMC) üzerinde misel veya daha karmaşık agregat yapıları oluşturarak hidrofobik ve hidrofilik bölgeleri bir arada

barındıran mikroortamlar meydana getirir. Bu mikroortamlar, metal iyonlarının kompleksleşmesini veya hidrofobik etkileşimlerle tutulmasını kolaylaştırarak ekstraksiyon verimini artırabilir. Ayrıca sürfaktan bazlı çözücüler, uçucu organik çözücü kullanımını azaltarak çevresel etkiyi önemli ölçüde düşürmektedir (Rosen & Kunjappu, 2012).

Yeşil kimya perspektifinden değerlendirildiğinde, DES ve sürfaktan sistemleri mikroekstraksiyon çözücüsü olarak önemli avantajlar sunsa da, her iki sistemin de tek başına bazı sınırlamaları bulunmaktadır. DES'lerin yüksek viskozitesi ve sürfaktanların faz kararlılığı gibi faktörler, ekstraksiyon performansını sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, DES ve sürfaktanların birlikte kullanıldığı çözücü sistemleri, mikroekstraksiyon süreçlerinde hem analitik verimlilik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından olumlu yeni özellikler sunmaktadır. Bu çözücü sistemleri, çözücülerin bireysel dezavantajlarını azaltırken, sinerjik etkileşimler yoluyla ekstraksiyon performansını artırabilmektedir (Sanchez-Fernandez vd., 2017; Chen vd., 2021).

5. Yeni Yeşil Çözücü Sistemi

Surfaktan destekli derin ötektik çözücü (SD-DES) sistemleri, derin ötektik çözücülerin ayarlanabilir kimyasal yapısını sürfaktanların dinamik faz davranışıyla birleştiren çözücü sistemleridir. Bu sistemlerde DES, temel ekstraksiyon ortamını oluştururken sürfaktanlar çözücü yapısını düzenleyen, mikroortam oluşturan ve kütle transferini hızlandıran yardımcı çözücü bileşeni olarak görev yapmaktadır. SD-DES sistemleri, özellikle toksik eser elementlerin düşük derişimlerde ve karmaşık matrislerde tayininde karşılaşılan zorluklara çözüm sunan yenilikçi bir strateji olarak literatürde giderek artan ilgi görmektedir.

5.1. Surfaktan Destekli DES Sistemlerinin Oluşum Mekanizması

SD-DES sistemlerinde sürfaktanların varlığı, DES fazının mikro yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Sürfaktan molekülleri, DES bileşenleriyle hidrojen bağları, iyonik etkileşimler ve hidrofobik yönelimler yoluyla etkileşime girerek organize agregat yapıları oluşturur. Bu agregatlar, klasik sulu çözücü sistemlerinde gözlenen misel yapılarından farklı olarak, DES'in yüksek iyonik gücü ve hidrojen bağlama kapasitesi nedeniyle daha verimli ve stabil mikroortamlar meydana getirebilmektedir. Bu durum, metal iyonlarının bu mikroortamlar içerisinde tutulmasını ve konsantre edilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca surfaktanların DES varlığında daha düşük kritik misel konsantrasyonda verimli bir misel yapısı oluşturduğu bilinmektedir. Sürfaktanların DES ortamında oluşturduğu bu yapılar, ekstraksiyon fazının viskozitesini düşürerek kütle transfer hızını artırmakta ve denge süresini kısaltmaktadır. Özellikle yüksek viskoziteli DES sistemlerinde sürfaktan eklenmesi, analitlerin fazlar arasında daha hızlı taşınmasını sağlayarak ekstraksiyon verimini artırmaktadır. Bu etki, mikroekstraksiyon uygulamalarında SD-DES sistemlerinin pratik kullanılabilirliğini önemli ölçüde iyileştirmektedir (Arnold,vd., 2015).

5.2. Analitik Performans Açısından Sağlanan Avantajlar

Surfaktan destekli DES sistemlerinin en önemli analitik avantajlarından biri, yüksek zenginleştirme faktörlerinin elde edilebilmesidir. DES'in metal iyonlarıyla güçlü etkileşimleri, sürfaktanların oluşturduğu mikroortamlarla birleştiğinde analitlerin seçici olarak tutulmasını mümkün kılmaktadır. Bu sinerjik etki, özellikle ICP-MS ve GFAAS gibi tekniklerde tespit limitlerinin belirgin şekilde düşürülmesine olanak tanımaktadır. SD-DES sistemleri ayrıca

analitik seçiciliği artırmaktadır. Sürfaktan türünün (anyonik, katyonik veya noniyonik) seçimiyle elektrostatik etkileşimler kontrol edilebilmekte, DES bileşenlerinin kimyasal doğasıyla birlikte belirli metal iyonlarına karşı tercihli ekstraksiyon sağlanabilmektedir. Bu durum, matris bileşenlerinin ekstraksiyon fazına geçişini sınırlayarak girişimi azaltmaktadır. Sonuç olarak, SD-DES sistemleri karmaşık gıda ve çevresel matrislerde dahi yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik sunmaktadır. Bir diğer önemli avantaj, SD-DES sistemlerinin çok yönlü uyarlanabilirliğidir. DES bileşimi, sürfaktan türü ve konsantrasyonu, pH ve iyonik güç gibi parametreler optimize edilerek farklı toksik eser elementlerin tayinine uygun ekstraksiyon ortamları tasarlanabilmektedir. Bu esneklik, SD-DES sistemlerini çok elementli analizler için de potansiyel hale getirmektedir (Basu vd., 2023; Banjare vd., 2020)).

5.3. Çevresel ve Yeşil Kimya Açısından Değerlendirme

SD-DES sistemleri, yeşil kimya prensipleriyle yüksek düzeyde uyumluluk göstermektedir. DES bileşenlerinin çoğunun biyouyumlu ve düşük toksisiteli olması, sürfaktanların ise düşük uçuculuk ve geri kazanılabilirlik özellikleri, bu sistemlerin çevresel ayak izini önemli ölçüde azaltmaktadır. Geleneksel organik çözücü bazlı mikroekstraksiyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında, SD-DES sistemleri uçucu organik bileşik kullanımını neredeyse tamamen ortadan kaldırmaktadır.nAyrıca, SD-DES sistemlerinde kullanılan çözücü hacimlerinin çok düşük olması, atık oluşumunu minimize etmekte ve laboratuvar güvenliğini artırmaktadır. Enerji tüketimi açısından da avantaj sağlayan bu sistemler, çoğu zaman oda sıcaklığında ve kısa sürelerde uygulanabilmektedir. Bu yönleriyle SD-DES yaklaşımları, analitik performans ile çevresel sürdürülebilirlik arasında dengeli bir çözüm sunmaktadır.

6. SONUÇ

Toksik eser elementlerin çevresel ve gıda kaynaklı örneklerde doğru ve güvenilir biçimde tayini, hem halk sağlığının korunması hem de çevresel risklerin izlenmesi açısından analitik kimyanın öncelikli çalışma alanlarından biridir. Kurşun, kadmiyum, cıva ve arsenik gibi elementler, düşük derişimlerde dahi biyobirikim özellikleri ve yüksek toksisiteleri nedeniyle ciddi sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, söz konusu elementlerin karmaşık matrislerde düşük tespit limitleriyle ve yüksek doğrulukta belirlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Günümüzde ICP-MS, AAS ve ICP-OES gibi gelişmiş analitik enstrümanlar yüksek duyarlılık sunmakla birlikte, gerçek örneklerin içerdiği yoğun matris bileşenleri analitik sinyaller üzerinde baskılayıcı veya bozucu etkilere neden olabilmektedir. Bu durum, ayırma ve zenginleştirme adımlarını analitik sürecin vazgeçilmez bir parçası haline getirmektedir. Özellikle mikroekstraksiyon teknikleri, düşük çözücü tüketimi, yüksek zenginleştirme faktörleri ve kısa analiz süreleri nedeniyle toksik eser element analizlerinde ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan surfaktan destekli derin ötektik çözücü (SD-DES) sistemleri, mikroekstraksiyon süreçlerinde karşılaşılan analitik ve çevresel sınırlamalara yenilikçi çözümler sunmaktadır. Derin ötektik çözücülerin ayarlanabilir kimyasal yapısı, sürfaktanların oluşturduğu organize mikroortamlarla birleştirildiğinde, ekstraksiyon veriminin ve seçiciliğin önemli ölçüde arttığı görülmektedir. Sürfaktanların DES ortamında kütle transferini hızlandırması ve viskozite kaynaklı sınırlamaları azaltması, bu sistemlerin analitik performansını belirgin biçimde iyileştirmektedir. SD-DES sistemlerinin bir diğer önemli katkısı, yeşil analitik kimya prensipleriyle yüksek uyumluluk göstermesidir. Uçucu ve toksik organik çözücülerin kullanımını büyük ölçüde ortadan kaldıran bu sistemler, düşük çözücü hacimleri ve geri kazanılabilir bileşenleri sayesinde çevresel negatif etkiyi azaltmaktadır. Enerji gereksiniminin düşük olması ve oda sıcaklığına yakın koşullarda uygulanabilmesi, SD-DES yaklaşımlarını sürdürülebilir analitik yöntemler açısından güçlü bir alternatif haline getirmektedir. Sonuç olarak, surfaktan destekli derin ötektik çözücü sistemleri, toksik eser elementlerin analitik tayininde hem analitik performans hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu sistemlerin farklı DES bileşimleri ve sürfaktan türleriyle daha kapsamlı biçimde araştırılması, çok elementli ve farklı matrislere yönelik uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Gelecekte yapılacak çalışmalar ve yöntem geliştirme, SD-DES yaklaşımlarının rutin analitik uygulamalarda daha yaygın kullanılmasının önünü açacaktır.

TEŞEKKÜR: Mevcut çalışma, F-2024-704 kodlu araştırma projesi kapsamında Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Abbott, A. P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. (2004). Deep eutectic solvents formed between choline chloride and carboxylic acids: versatile alternatives to ionic liquids. Journal of the American Chemical Society, 126(29), 9142-9147.

Alloway, B. J. (2013). Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils Springer. Dordrecht, 11-50.

Anastas, P. T., & Warner, J. C. (2000). *Green chemistry: theory and practice*. Oxford university press.

Arnold, T., Jackson, A. J., Sanchez-Fernandez, A., Magnone, D., Terry, A. E., & Edler, K. J. (2015). Surfactant behavior of sodium dodecylsulfate in deep eutectic solvent choline chloride/urea. Langmuir, 31(47), 12894-12902.

Banjare, R. K., Banjare, M. K., Behera, K., Pandey, S., & Ghosh, K. K. (2020). Micellization behavior of conventional cationic surfactants within glycerol-based deep eutectic solvent. ACS omega, 5(31), 19350-19362.

Basu, M., Hassan, P. A., & Shelar, S. B. (2023). Modulation of surfactant self-assembly in deep eutectic solvents and its relevance to drug delivery-A review. *Journal of Molecular Liquids*, *375*, 121301.

Chen, J., Li, X., Huang, A., Deng, W., & Xiao, Y. (2021). Nonionic surfactants based hydrophobic deep eutectic solvents for liquid-liquid microextraction of Sudan dyes in tomato chili sauces. Food Chemistry, 364, 130373.

Hou, X., & Jones, B. T. (2000). Inductively coupled plasma/optical emission spectrometry. Encyclopedia of analytical chemistry, 2000, 9468-9485.

Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Interdisciplinary toxicology, 7(2), 60.

Kokosa, J. M. (2013). Advances in solvent-microextraction techniques. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 43, 2-13.

Płotka-Wasylka, J. (2018). A new tool for the evaluation of the analytical procedure: Green Analytical Procedure Index. Talanta, 181, 204-209.

Rosen, M. J., & Kunjappu, J. T. (2012). Surfactants and interfacial phenomena. John Wiley & Sons.

Sanchez-Fernandez, A., Hammond, O. S., Jackson, A. J., Arnold, T., Doutch, J., & Edler, K. J. (2017). Surfactant-solvent interaction effects on the micellization of cationic surfactants in a carboxylic acid-based deep eutectic solvent. Langmuir, 33(50), 14304-14314.

Smedley, P. L., & Kinniburgh, D. G. (2002). A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. *Applied geochemistry*, *17*(5), 517-568.

Smith, E., Naidu, R., & Alston, A. M. (1998). Arsenic in the soil environment: a review. *Advances in agronomy*, *64*(149195), 60504-0.

Spietelun, A., Marcinkowski, Ł., de la Guardia, M., & Namieśnik, J. (2014). Green aspects, developments and perspectives of liquid phase microextraction techniques. *Talanta*, *119*, 34-45.

Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, clinical and environmental toxicology: volume 3: environmental toxicology*, 133-164.

Todoli, J. L., & Mermet, J. M. (2011). Liquid sample introduction in ICP spectrometry: A practical guide. Elsevier.

Welz, B., & Sperling, M. (2008). Atomic absorption spectrometry. John Wiley & Sons.

World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality. WHO Press.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OTO BAKIM SEKTÖRÜNE YÖNELİK KALICI ETKİ BIRAKACAK SU BAZLI SU İTİCİ KAPLAMA ÜRÜNÜ HAMMADDESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Arda PEKŞEN
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
apeksen@latro.com.tr - 0009-0003-3596-0212

Özge YILMAZ
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
oyilmaz@latro.com.tr - 0009-0008-3782-451X

Ayrin İBİŞ
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
aibis@latro.com.tr - 0000-0002-7270-2429

ÖZET

Otomotiv ve yüzey bakım kimyasalları pazarında, koruma katmanının kalıcılığı ile uygulama sonrası optik kusurların (iz veya kalıntı) önlenmesi arasındaki kritik denge, inovasyonu zorunlu kılmaktadır. Bu projenin temel Ar-Ge hedefi, kalıcı hidrofobik etkiyi yüzey lekesi riskini en aza indirerek ve ticari olarak rekabetçi bir maliyet yapısıyla sunan bir silikon kompozit geliştirmektir.

Geliştirilen Silicare Block, yüksek aktif maddeli katyonik yapıya sahip modifiye siloksan kopolimer sistemidir. Bu bileşik, üstün yüzey tutunması için katyonik silikon bileşenleri ve film sertliğini optimize etmek için silikat bazlı çapraz bağlayıcı bileşenleri sinerjik olarak birleştirir. Bu yapı sayesinde, kuaterner yapıdaki polimerin yüzeye güçlü elektrostatik adsorpsiyonu hidrofobik etkinin dayanıklılığını artırırken, çapraz bağlayıcı bileşenler yüzey morfolojisini optimize ederek iz ve leke oluşumunu engellemektedir.

Proje kapsamında ticari kullanıma yönelik Baz Formülasyon geliştirilmesiyle, ürünün konsantrasyon verimliliği en üst düzeye çıkarılmıştır. Baz Formülasyonun su ile seyreltilerek hazırlanan nihai çözeltilerde sadece %4'lük bir oranda kullanılmasıyla, kullanıma hazır üründeki aktif Silicare Block oranı %0.36 gibi son derece düşük bir seviyede kalmaktadır. Elde edilen yüksek performans, bu ultra düşük aktif kullanım oranıyla birleştiğinde, projenin

maliyet-etkinlik açısından kritik bir ticari fırsat çıktısı olduğunu ve pazarda üstün bir fiyat rekabetçiliği sağladığını kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuaterner Aminosilikon, Polidimetilsiloksan (PDMS), Hidrofobik Yüzey Modifikasyonu, Oto Bakım Kimyasalları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DENİZ KAYNAKLI HİDROLİZE KOLAJENİN KOZMETİK FORMÜLASYONLARA ADAPTASYONU: SÜRDÜRÜLEBİLİR HAMMADDELERE YÖNELİK AR-GE YAKLAŞIMI

Özge YILMAZ
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
oyilmaz@latro.com.tr - 0009-0008-3782-451X

Ahmet GEZER
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
agezer@latro.com.tr - 0009-0005-2755-7735

Ayrin İBİŞ
Latro Kimya Ar-Ge Merkezi, İstanbul, Türkiye
aibis@latro.com.tr - 0000-0002-7270-2429

ÖZET

Son yıllarda deniz kaynaklı hidrolize kolajen, sürdürülebilirliği, yüksek biyoyararlanımı ve düzenleyici gereklilikler açısından sağladığı avantajlar nedeniyle bovin ve domuz kaynaklı kolajene alternatif bir bileşen olarak önem kazanmaktadır. Bu proje kapsamında, yerli üretim deniz kaynaklı hidrolize kolajenin krem, losyon, jel ve dudak bakım ürünleri gibi çeşitli kozmetik formülasyonlara entegrasyon potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda literatür ve pazar analizleri gerçekleştirilmiş; tüketici eğilimleri, rakip ürün profilleri ve kullanım dozajları incelenmiştir.

Prototip formülasyonlar hazırlanarak 45°C etüvde 3 ay, oda sıcaklığında 3 ay ve + 4°C'de 1 ay stabilite çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda hidrolize deniz kolajeninin formülasyonlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve tüm ürün gruplarında stabil formülasyonlar elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, kolajeni kozmetik formüllerde %1–10 aralığında kullanım önerisi verilebilmiştir.

Ürünlerin duyusal özelliklerini değerlendirmek amacıyla aroma ve parfüm uyumluluk çalışmaları gerçekleştirilmiş; bitmiş ürünlerde koku ve aroma performansı aynı şekilde etüv,

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

oda sıcaklığı ve +4°C koşullarında incelenmiştir. Hidrolize kolajenin, parfüm ve aromatik bileşenlerle uyumlu olduğu ve stabiliteyi olumsuz etkilemediği doğrulanmıştır.

Bu çalışma, deniz yan ürünlerinden elde edilen kolajenin döngüsel ekonomiye katkı potansiyelini ortaya koymakta ve sürdürülebilir kozmetik bileşenlerinin geliştirilmesi için bilimsel bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deniz Kolajeni, Hidrolize Kolajen, Kozmetik Formülasyon, Stabilite

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HİDROJEL YAPILI POLİMER KOMPOZİTİN TERMAL BOZUNMA KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Güzin PIHTILI YILDIZ
Munzur Üniversitesi,
gpihtili@yahoo.com.tr - 0000-0003-2261-6810

ÖZET

Bu çalışmada, Europium (III) klorür ($EuCl_3$) katkılı P(akrilamid-co-4vinilpiridin) hidrojelinin termal bozunma termogravimetrik analiz (TGA) yöntemiyle değerlendirilmiştir. Polimer örneği, belirli miktarlarda N_2 atmosferinde 10-20-30 ve 40 ^oC/dk ısıtma hızlarında 25 ^oC'den 600 ^oC'ye kadar ısıtılmış ve elde edilen TGA eğrilerinden, polimerin bozunma sıcaklıkları belirlenmiştir. Farklı ısıtma hızlarında elde edilen bozunma profilleri kullanılarak, Flynn–Wall–Ozawa yaklaşımı doğrultusunda bozunma kinetiğine ait aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Bu kapsamda, %12, 15, 20, 30, 40, 50 ve 60 kütle kaybına karşılık gelen dönüşüm dereceleri dikkate alınmıştır. Her bir dönüşümde tespit edilen 1000/T sıcaklık değerlerine karşı logβ değerleri grafiğe geçirilerek elde edilen doğruların eğiminden, her bir dönüşüm yüzdesine karşılık gelen aktivasyon enerji değerleri hesaplandı. Bu polimer için ortalama aktivasyon enerji 123,56 kJ/mol olarak hesaplandı. Ayrıca yaklaşık %70 dönüşüm derecesine karşılık gelen aktivasyon enerjisinin (119,13 kJ/mol), ortalama değere en yakın sonuç verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal bozunma, aktivasyon enerjisi, polimer.

1. GİRİŞ

Son zamanlarda bilim dünyasında fonksiyonel polimerler üzerine birçok çalışma bulunmaktadır [1-3]. Yapılan çalışmalarda yeni bileşiklerin sentezlenmesi kadar uygulanabileceği alanları belirlemek de oldukça önem arz etmektedir. Kullanılacak alanın özelliklerine göre yeni bileşikler tasarlanıp sentezlenmiş ve sentezlenmeye de devam etmektedir. Polimerler yan grupların sahip oldukları özelliklere göre optik malzemeler, organik-inorganik hibrit malzeme tasarımı, biyokimyasallar, sıvı kristal malzemeler ve enerji transfer malzemeleri gibi farklı kullanım alanlarına sahiptir [4,5].

Termal analiz yöntemleri literatürde kapsamlı bir şekilde incelenmiştir [6–9]. Termal kinetik çalışmalarını açıklamak için önerilmiş çok çeşitli teorik modeller bulunmaktadır. Diferansiyel termal analiz; DTA, diferansiyel taramalı kalorimetri; DSC ve termogravimetrik analiz; TGA gibi termal analiz tekniklerinin uygulanması, katı malzemelerde çekirdeklenme ve büyüme süreçleri hakkında bilgi elde etmek için basit ve kullanışlı bir araç olduğunu göstermiştir. Polimer, monomer, oligomer, metal kompleksleri, alaşımlar, kompozitler, camlar ve organik bileşikler gibi katı malzemelerin kinetik parametrelerini (reaksiyon mertebesi n,

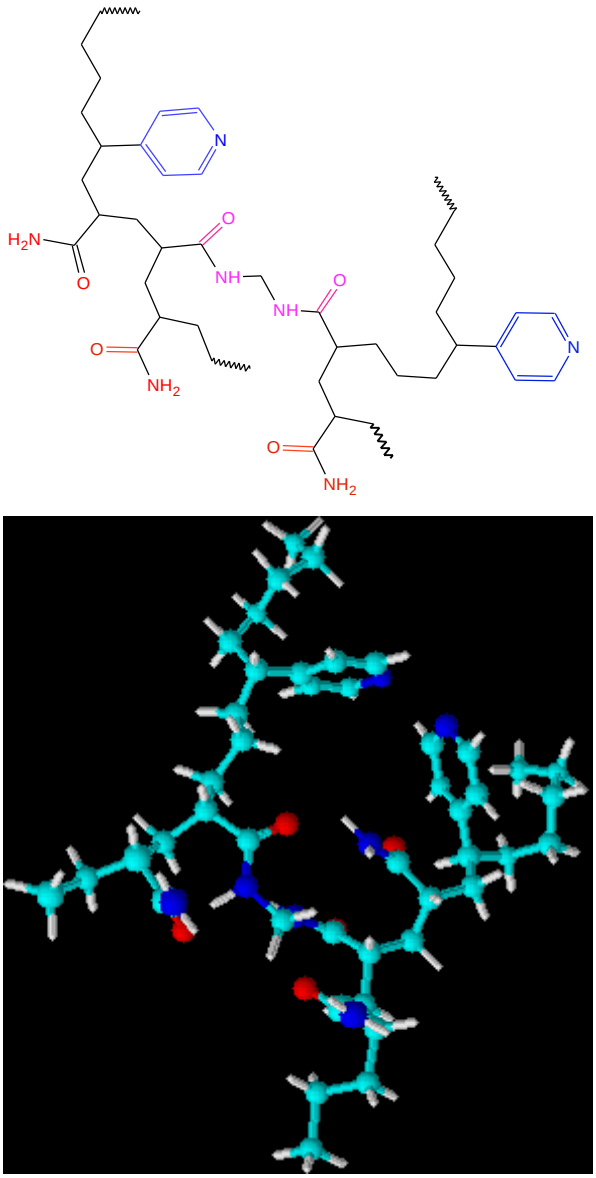
aktivasyon enerjisi E_a ve Arrhenius sabiti (K_o) ve termodinamik parametrelerini ve ısı kapasitesi (C_p) gibi teorik parametreleri belirlemek için literatürde çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. [10].

Polimerlerin ısıl bozunma davranışlarının araştırılması, uzun bir süredir termal analiz alanındaki çalışmaların temel odak noktalarından biri olarak görülmektedir [11-19]. Hem inert hem de oksitleyici ortamlarda gerçekleşen bozunma süreçleri araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Termogravimetrik analiz (TGA) ise polimerlerin ısıl ayrışma kinetiğini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan bir tekniktir [11]. TGA tekniğinde, artan sıcaklık boyunca numunenin kütlesinde meydana gelen değişimler izlenerek kaydedilir [20]. Depolimerizasyon sürecinin karakteristik yönü, yüksek sıcaklıklarda geriye kalıntı bırakmamasıdır; yani monomer, dimer veya zincir parçaları gibi oluşan tüm bozunma ürünleri, temelde polimerin tekrar eden birimiyle aynı bileşimi taşır [21]. Sıcaklık, kademeli olarak yükseldiği için, yalnızca bir bozunma aşaması vardır [22]. Kinetik ölçüm ve Arrhenius parametleri ile ilişkili ölçümler, polimerlerin yapı karakterizasyonunun önemli unsurlarındandır. TGA, DSC ve diğer termal analiz tekniklerinden elde edilen verilerin kullanımıyla kinetik parametrelerin güvenilir şekilde çıkarılmasını mümkün kılan kapsamlı bir yöntem dizisi termal analiz tarafından sunulmaktadır [23]. Arrhenius denklemi, hız sabitini aktivasyon enerjisi ve ön-üssel faktör aracılığıyla sıcaklıkla ilişkilendirir. Çoğu durumda, aktivasyon enerjisi ve ön-üssel faktör sabittir; ancak bazı reaksiyonlarda bu kinetik parametreler reaksiyonun ilerlemesine göre değişebilir. Bu değişim, dönüşüm derecesinin bir fonksiyonu olarak güvenilir aktivasyon enerjileri (genellikle etkin aktivasyon enerjisi) verdiği bilinen izokonversiyonel yöntemlerle tespit edilebilir ve bu nedenle güvenilir mekaniksel sonuçlara varılmasına olanak tanır [24]. Flynn-Wall-Ozawa tarafından açıklanan izotermal olmayan izo-dönüşümlü yöntemler, polimer esaslı malzemelerin kinetiğini incelemek için kullanılan önemli bir alternatif yöntemdir [25] Bu yöntem, integral izo-dönüşümlü yöntemden türetilir [26]. Flynn − Wall − Ozawa yöntemi, aktivasyon enerjisinin zamana göre değişebileceği birçok reaksiyonun meydana geldiği sistemlerde kullanım için potansiyel olarak uygundur [23]. Bu çalışmada, Europium (III) klorür ($EuCl_3$) katkılı P(akrilamid-co-4vinilpiridin) hidrojelinin termal bozunması TGA ile incelenmiş ve Flynn–Wall–Ozawa yöntemi kullanılarak farklı ağırlık kaybı yüzdelerinde aktivasyon enerjileri belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada kullanılan $EuCl_3$ katkılı polimer kompozitin yapısı Şekil 1'de detaylı olarak sunulmaktadır. Söz konusu kopolimer, Pihtili ve çalışma arkadaşları tarafından başka bir çalışmada başarıyla sentezlenmiş ve kapsamlı karakterizasyon yöntemleriyle yapısal birimleri ile fonksiyonel grupları belirlenmiştir [27]. Bu çalışmada ise, yapısal bütünlüğü doğrulandıktan sonra, farklı bir çalışma oluşturmak üzere; polimerin farklı ağırlık kaybı yüzdelerine karşı Flynn–Wall–Ozawa yöntemiyle aktivasyon enerjileri araştırılmıştır. Görsel 1'de çalışmada kullanılan polimerin yapısı gösterilmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



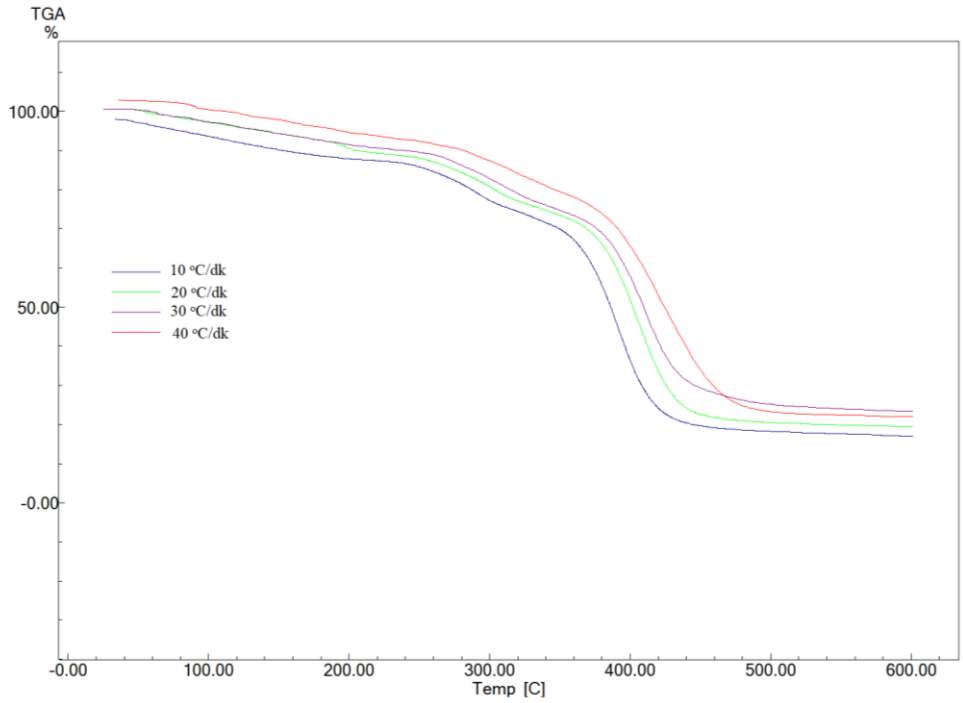
Görsel 1. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin kimyasal ve 3D yapısı

2.1. Termal bozunma kinetiğine dayalı termogravimetrik ölçümler

Termogravimetrik analiz (TGA) tekniğinde, artan sıcaklığa bağlı olarak örneğin kütle değişimi anlık olarak izlenir ve buna karşılık sıcaklık–kütle ya da sıcaklık–% kütle kaybı eğrileri oluşturulur. Numunenin kütle kaybı, ısıtma süresince yüksek hassasiyetli bir mikro terazi aracılığıyla sürekli kaydedilir. Bu ölçümler, azot veya argon gibi inert gaz atmosferlerinde de gerçekleştirilebilir. Bu çalışmada, materyalin termal bozunma davranışını incelemek amacıyla Shimadzu TA-50 termobalans cihazı kullanılmıştır. Kopolimerin bozunma profilleri ve aktivasyon enerjileri, elde edilen TGA eğrileri üzerinden hesaplanmıştır. Bu kapsamda, polimer örneği azot atmosferi altında 10, 20, 30 ve 40°C/dk olmak üzere farklı ısıtma

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

hızlarında, ortam sıcaklığından 600 °C'ye kadar ısıtılarak analiz edilmiştir. Görsel 1'de çeşitli ısıtma hızlarında elde edilen TGA eğrileri sunulmakta, Çizelge 1'de ise bu analizlerden türetilen temel veriler özetlenmektedir. TGA ölçümünden polimerin 2 basamakta bozunduğunu görmemiz mümkündür.



Görsel 1. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin farklı ısıtma hızlarına bağlı TGA eğrileri

Aktivasyon enerji hesabı için; $EuCl_3$ ile katkılanmış Poli (Aam-co-4-VP) hidrojelinin TGA yardımı ile termal bozunması incelendi. Bu yöntemde; uygun miktarlarda alınan polimer örneği Azot ortamında 10, 20, 30 ve 40°C/dk ısıtma hızlarında oda sıcaklığından 600°C'ye kadar ısıtıldı ve TGA eğrilerinden, hidrojelin bozunma sıcaklıkları belirlendi. Farklı ısıtma hızlarındaki bozunma eğrilerinden faydalanarak, Flynn-Wall-Ozawa metoduna göre polimerin bozunmasına yönelik aktivasyon enerjileri belirlendi. Bu metot da aktivasyon enerjisinin tayini için; %12, 15, 20, 30, 40, 50 ve 60 oranlarındaki ağırlık kaybı değerlerine karşılık gelen bozunma değerleri okundu. Farklı dönüşümlerde elde edilen 1000/T sıcaklık değerlerine karşı logβ değerleri grafiğe geçirildi. Elde edilen serilerin eğiminden, her bir dönüşüm yüzdesine karşılık gelen aktivasyon enerjileri hesaplandı. Hesaplanan değerler arasında polimer için ortalama aktivasyon enerji 123,56 kJ/mol olarak bulundu. Bu değer; yaklaşık olarak % 70 dönüşüme karşılık gelen aktivasyon enerji değeri olan değere (119,13 kJ/mol), karşılık geldiği tespit edilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 1. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin farklı ısıtma hızlarına bağlı TGA verileri

Isıtma Hızı(°C/dk)	*$T_{baş1}$ (°C)*	*$T_{baş2}$ (°C)*	*T_{son}(°C)*	*T%50(°C)*	*600 °C'de % atık*
10	241	352	435	386	17,44
20	247	364	442	405	20,02
30	258	375	457	412	22,89
40	268	383	484	427	23

2.2. Flynn-Wall-Ozawa Kinetik Metodu ile Aktivasyon Enerji Hesabı

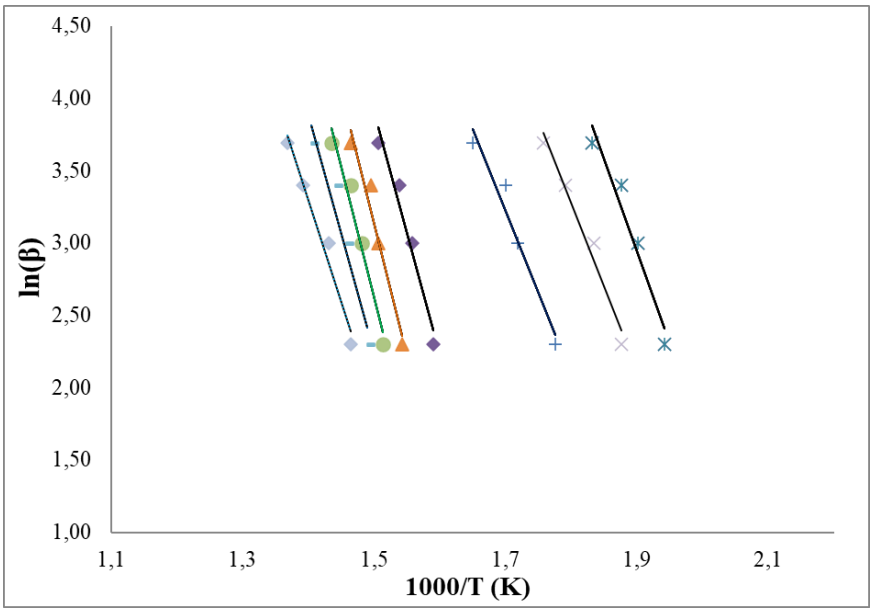
TGA verilerinden hareketle aktivasyon enerjisi ve pre-eksponansiyel faktör gibi kinetik parametrelerin belirlenebilmesi için literatürde çeşitli hesaplama yaklaşımları geliştirilmiştir. Bu tür kinetik bilgiler, farklı yöntemlere dayanan deneysel analizlerle elde edilebilmektedir. Çoğu araştırmacı, polimerlerin termal bozunma davranışına ilişkin kinetik değerlendirmelerde izotermal olmayan analiz tekniklerini tercih etmiştir. Bu çalışmada Eu^{+3} katkılı polimerin termal bozunma kinetiğini değerlendirmek ve Ea hesabını yapabilmek için Flynn-Wall-Ozawa (FWO) kinetik metodu kullanıldı. Bu metod da reaksiyon mertebesini bilmeye gerek olmadan [20] integral metodu ile çalışan bir yöntemdir [28-30]. Dönüşüm değerlerinden aktivasyon enerjisi bulunur [22]. İzotermal olmayan analizlerde, bozunma süreci sıcaklığın sürekli artışıyla birlikte farklı sıcaklık aralıklarında ilerler. Taşıyıcı gaz türü, akış hızı ve numunenin fiziksel formu (örneğin katı ya da toz halde olması) gibi etmenler, elde edilen kinetik parametreleri doğrudan etkileyen önemli değişkenlerdir. Bu tekniğin temel üstünlüğü, Arrhenius tipi sıcaklık bağımlılığı dışında herhangi bir özel kinetik model varsayımına ihtiyaç duymadan değerlendirme yapılabilmesine olanak tanımasıdır [23]. Flynn–Wall–Ozawa yönteminde; Doyle'un yaklaşımını kullanılır ve integral izokonversiyonal metodundan üretilmiştir. Çeşitli ısıtma oranlarında kaydedilen eğrilerden elde edilen 1 / T lnβ' ye karşı grafiğe geçirilir ve hesaplama yapılır. Aşağıda verilen eşitlik Flynn-Wall-Ozawa metodunda kullanılır: [31]

$$\ln\beta = \log\frac{\Delta E}{\varrho(\alpha).R} - 2{,}35 - \frac{0{,}457E}{RT} \qquad (1)$$

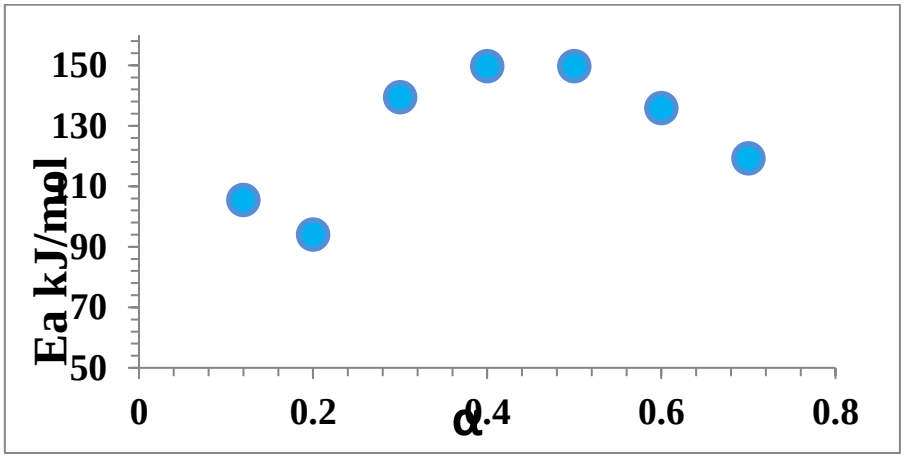
Burada "β" ısıtma hızıdır (°C/dak). Bu denkleme göre aktivasyon enerjisi log β – (1000/T) grafiğindeki eğimden hesaplanır. Eğim, (-0.457 E_a/R) değerine eşittir. Bu metotta log β ve (1000/T) arasında bir linerlik mevcut olduğundan bütün yüzde dönüşümler için eğriler birbirine paraleldir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Flynn–Wall–Ozawa yöntemine göre elde edilen eğriler karşılaştırmalı olarak Görsel 2'de sunulmuştur. Aktivasyon enerjisinin (E_a) dönüşüm derecesiyle (α) ilişkisinin gösterildiği grafik ise Görsel 3'te verilmiştir. Bu sonuçlar, aktivasyon enerjisinin dönüşüme bağlı olarak değiştiğini ve maksimum E_a değerinin 119,139 kJ/mol ile yaklaşık %70 dönüşüm seviyesinde ortaya çıktığını göstermektedir. Görsel 4'te sıcaklığın dönüşüm oranına göre değişimi incelendiğinde, sıcaklığın kontrollü biçimde yükselmesine paralel olarak dönüşüm değerlerinde belirgin bir artış gözlendiği anlaşılmaktadır.

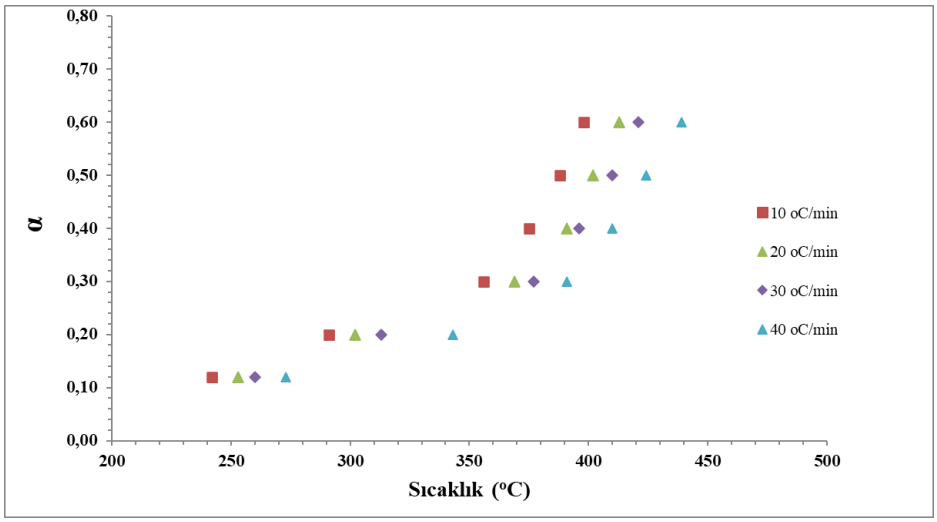


Görsel 2. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$' ün 10, 20, 30 ve 40 K dk^{-1} ısıtma hızlarında %12-70 bozunma aralığındaki Flynn-Wall-Ozawa eğrileri



Görsel 3. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin E_a – α grafiği

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 4. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin T − α grafiği grafiği

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Termogravimetrik analiz yöntemi kullanılarak Poli(AAm-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin termal özellikleri ve bozunma kinetiği ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Bu doğrultuda, belirlenen miktarlardaki hidrojel örnekleri, N_2 atmosferi altında farklı ısıtma hızlarında, 25 °C'den 600 °C'ye kadar ısıtılarak analiz edilmiştir. Hidrojelin, ısıtma hızındaki artışa paralel olarak maksimum bozunma pik sıcaklıklarında da yükselme gözlenmiştir. Farklı hızlarda kaydedilen bu bozunma eğrilerinden elde edilen veriler kullanılarak, referans kopolimerin termal bozunma aktivasyon enerjileri Flynn–Wall–Ozawa yaklaşımıyla hesaplanmıştır. Bu yöntemin tercih edilme nedeni, reaksiyon mertebesi veya bozunma mekanizmasına ilişkin herhangi bir ön bilgi gerektirmeden aktivasyon enerjisinin belirlenmesine olanak tanıyan integral bir yöntem olmasıdır. Poli (Aam-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojeli için ortalama aktivasyon enerji değeri 123,56 kJ/mol olarak hesaplandı. Elde edilen ortalama E_a değerine en yakın değer 119,139 kJ/mol değeri ile %70'lik bozunma yüzdesinde elde edilmiştir. Bu çalışma, $EuCl_3$ katkılı P(akrilamid-co-4-vinilpiridin) hidrojelinin termal olarak kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Termogravimetrik analiz ve Flynn–Wall–Ozawa kinetik yaklaşımıyla elde edilen sonuçlar, bozunma sürecinin tek aşamalı olmadığını ve dönüşüm derecesine bağlı olarak kinetik parametrelerin değiştiğini ortaya koymaktadır. Ortalama aktivasyon enerjisi değerinin 123,56 kJ/mol gibi görece yüksek bir değerde olması, polimer ağının Eu^{3+} iyonları ile güçlendiğini ve yapının termal bozunmaya karşı direnç kazandığını düşündürmektedir. Her bir dönüşüme karşılık gelen aktivasyon enerjileri ***Çizelge 2***'de özetlenmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 2. Farklı dönüşümlere karşılık gelen aktivasyon enerji değerleri

α (%)		
	E_a(kJ/mol)	**R^2**
12	105,64	0,98
15	95,66	0,97
20	93,94	0,96
30	139,65	0,96
40	149,65	0,96
50	149,33	0,96
60	135,77	0,94
70	119,13	0,97
ort	123,56	

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Poli(AAm-co-4-VP)+$EuCl_3$ hidrojelinin termal kararlılığı ve bozunma kinetiği TGA analizleri ile kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Farklı ısıtma hızlarında elde edilen verilerin Flynn–Wall–Ozawa yöntemiyle analiz edilmesi, hidrojelde gerçekleşen termal bozunma sürecine ilişkin aktivasyon enerjisinin güvenilir biçimde hesaplanmasına olanak sağlamıştır. Elde edilen sonuçlar, aktivasyon enerjisinin yüksek dönüşüm seviyesinde 119,13 kJ/mol olduğunu ve dönüşümün %70'a doğru ilerlemesiyle birlikte bozunma sıcaklıklarının belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Bu bulgular, hidrojelin artan dönüşüm oranlarında daha yüksek termal kararlılık sergilediğini ve $EuCl_3$ katkısının sistemin termal davranışına anlamlı ölçüde etki ettiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Zhang, W., Tu, Z., Snehashis J., Lynden C., Lu, A., Design Principles of Functional Polymer Separators for High-Energy, Metal-Based Batteries, Nano-micro small, 14, 1703001, (1-21). 2018.

[2] Chen, L., Yan, C., Zheng, Z., Functional polymer surfaces for controlling cell behaviors, Materials today, 21, 38-59, 2018.

[3] MacFarlane, L., Shaikh, H., Garcia-Hernandez, D., Vespa, M., Fukui, T., Manners, L., Functional nanoparticles through π-conjugated polymer self-assembly, Nature Reviews Materials, 6, 7-25, 2020.

[4] Kim, K., Sim K.M., Yoon, S., Jang, M.S., Chung, D.S., Defect Restoration of Low-Temperature Sol-Gel-Derived ZnO via Sulfur Doping for Advancing Polymeric Schottky Photodiodes, 28, 1802582. 2018.

[5] Aksoy Ö., Uzun, İ., Topal G., Ocak, Y. S., Çelik, Ö., Batibay, D., Schottky Diodes Based on the New Chitin Derivatives, Functional Polymers, 61, 242-252. 2019.

[6] Tang, C. W., Two-layer organic photovoltaic cell, Appl. Phys. Lett. 48,183. 1986.

[7] Hoppe, H., Sariciftci, N. S., Organic solar cells: An overview J. Mater. Res. 19, 1924, 2004.

[8] Rostalski, J., Meissner, D., Photocurrent spectroscopy for the investigation of charge carrier generation and transport mechanisms in organic p/n-junction solar cells, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 63, 37. 2000.

[9] Gebeyehu, D., Maennig, B., Drechsel, J. Leo, K., Pfeiffer, M., Bulk-heterojunction photovoltaic devices based on donor–acceptor organic small molecule blends, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 79, (2003) 81.

[10] Yakuphanoglu, F., Thermal analysis methods used in solid state physics and chemistry to obtain kinetics and thermodynamics parameters of solid materials by TGA, DTA and DSC analyses, Journal of Materials and Electronic Devices, 1,17-23. 2015.

[11] Jeffery, D.P., Sergey, V., Charle, A.W., Kinetics of the Thermal and Thermo-Oxidative Degradation of Polystyrene. Polyethylene and Poly(propylene), Macromol. Chem. Phys., 202: 775–784. 2001.

[12] Madorsky, S. L., Thermal Degradation of Organic Polymers, New York, Interscience Publishers, 1964.

[13] Reich, L., Stivala, S.S., Elements of Polymer Degradation. McGraw-Hill, New York, 1971.

[14] Schnabel, W., Polymer Degradation: Principles and Practical Applications, Macmillan, New York, 1981.

[15] Kelen, T., Polymer Degradation, Van Nostrand, New York, 1983.

[16] Grassie, N., Scott, G., Polymer Degradation and Stabilisation. Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

[17] Flynn, J.H., Thermal Analysis, in: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, Wiley, New York, 690. 7. 1989.

[18] Hamid, S.H, Amin, M.B., Maadhah, A.,G, Dekker, E.,M., Handbook of Polymer Degradation, New York. 1992.

[19] Zaikov, G. E., Degradation and Stabilization of Polymers: Theory and Practice. Nova Science Publishers, Commack, New York. 1995.

[20] Ayaz, H., *Pirazabol Merkezli İki Kollu Polimetilmetakrilat'ın Hazırlanması ve Termal Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitütüsü, Adıyaman, 2011.

[21] Mcneill, I.C., Memetea, L., Ahmed, S., Cole, W. J., The thermal degradation of the vinyl acetate-methacrylic acid copolymer and its related homopolymers III: the analysis of the pyrolysis products, Polym Degrad Stab, 48: 395-410. 1995.

[22] Zulfiqar, S., Piracha, A., Masud, K., The thermal degradation of poly(allyl methacrylate), Polym Degrad Stab, 52, 89-93. 1996.

[23] Venkatesh, M., Ravi, P., Surya, P., Tewari Isoconversional Kinetic Analysis of Decomposition of Nitroimidazoles: Friedman method vs Flynn−Wall−Ozawa Method. J. Phys. Chem. A, 117: 10162−10169. 2013.

[24] Ravi, P., Model free isoconversional procedure for evaluating the effective activation energy values of thermally stimulated processes in dinitroimidazoles, The Journal of chemical Physics, 140, 204201, 2014.

[25] Sanja, M.M, Ivona, F. H., Muhamed, S., Applicability of Non-isothermal DSC and Ozawa Method for Studying Kinetics of Double Base Propellant Decomposition, Central European Journal of Energetic Materials, 7: 233-251. 2010.

[26] Aboulkas, A., El Harfi, K., Study of the Kinetics and Mechanisms of Thermal Decomposition of Moroccan Tarfaya Oil Shale and its Kerogen, Oil Shale, 25, 426–443. 2008.

[27] Pıhtılı, G., Tanyol, M., Birkan, K., Naphthol green B Removal using a Novel Hydrogel Composite: Thermodynamics, Isotherms, Kinetics and Optimization by RSM, ChemistrySelect, 7, e202201719. 2022.

[28] Ayhan, A.,F., *Kumarin Türevli Kopolimer Sistemlerinin Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman, 2017

[29] Flynn, J.H., Wall, L. A.., Initial Kinetic Parameters From Thermogravimetric Rate and Conversion Data, Journal of Polymer Science Part B: Polymer Letters, 5: 191-196. 2003

[30] Ozawa, T., Applicability of Friedman Plot. Journal of Thermal Analysis, 31, 547-551, 1986.

[31] Santos F. B., Miranda, N. T., Schiavon M. I. R. B., Fregolente, L. V. , Wolf, Maciel M. R. Thermal degradation kinetic of poly(acrylamide-co-sodium acrylate) hydrogel applying isoconversional methods, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,146, 2503–2514, 2021.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

D-A TÜREVLİ YAPILARDA TAUTOMERİZMİN OLED PERFORMANSINA ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÖZTÜRK[1]

Iğdır Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Iğdır, Türkiye

kimyagerhan@hotmail.com - 0000-0003-4006-2428

Öğr. Gör. Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT[2]

Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük, Proje Geliştirme ve Koordinasyon Ofisi, Kırklareli, Türkiye

ykeskekkarabulut@klu.edu.tr - 0000-0002-6742-783X

Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN[3]

Iğdır Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya, Iğdır, Türkiye,

zeynepsilanturhan@hotmail.com - 0000-0002-3587-2576

ÖZET

Organik ışık yayan diyotların (OLED'lerin) uygulamalarında kullanılmak üzere, bir dizi elektron alıcı-verici yapıların elektronik, optik ve yük taşıma özellikleri değerlendirilmiştir. Tasarlanan ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-1H-benzotriazol (DTP-1H) ve ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-2H-benzotriazol (DTP-2H) kompleksleri için, elektron verici DTP ve elektron çekici benzotriazol grupları eklenerek tautomerik yapılar oluşturuldu. Oluşturulan yapılar (DTP-1H, DTP-2H) için, en düşük enerjili boş moleküler orbital (LUMO), en yüksek enerjili dolu moleküler orbital (HOMO), enerji bant aralığı (Egap) ve singlet-triplet enerji boşluğu (ΔE_{ST}) kullanılarak tautomerizmin OLED performansına etkisi araştırıldı. DTP-1H ve DTP-2H için geometrik parametrelerin karakterizasyonu yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) kullanılarak hesaplandı. Uyarılmış durum enerjileri ve absorpsiyon dalga boylarının hesaplamaları ise, zamana bağlı yoğunluk fonksiyonel teori (TD-DFT) yaklaşımı ile hesaplamalar yapıldı. Bu analizler için B3LYP/6-311G(d,p) temel seti kullanıldı. Teorik olarak elde edilen parametreler ile tautomer yapıların OLED performansına etkileri değerlendirildi.

Anahtar Kelimeler: OLED, TD-DFT, DTP, Benzotriazol

1. GİRİŞ

Son yıllarda, π-konjuge organik bileşikler, fizik, kimya, organik kimya ve malzeme bilimlerinde oldukça ileri bir araştırma konusu haline gelmiştir. Bu durum, yüksek yük kapasitesi, hafiflik, esneklik, yüksek verim, kolay üretim, termal karalılık ve düşük maliyet gibi avantajlardan kaynaklanmaktadır. Organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler) gibi optoelektronik cihaz teknolojileri için π-konjuge moleküllerin ilgi çekici malzemeler olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir (Anthony, 2006; Bourass et al., 2017; H. Chen et al., 2011; W.-C. Chen et al., 2015; Ebata, Miyazaki, Yamamoto, & Takimiya, 2007; Jeux et al., 2015).

OLED'ler, gelişmiş tam renkli düz panel ekranlara ve enerji verimli katı hal aydınlatma kaynaklarına olan artan talep nedeniyle son zamanlarda giderek daha fazla ilgi çekmekte ve önemli bir ivme kazanmaktadır (W. C. Chen, Zhu, & Lee, 2018; Duan et al., 2011; Marzouk Raftani et al., 2025). Son zamanlarda, özellikle elektronik araştırmacıları ve küresel OLED üreticileri arasında, küçük moleküllere dayalı yüksek teknolojik OLED'ler önemli bir ilgi çekmektedir (Han et al., 2014; Muccini & Toffanin, 2016; Marzouk Raftani et al., 2025; Sundar, Raja, Sanjeeviraja, & Jeyakumar, 2017). OLED'lerin çalışma prensibi, güneş enerjisini elektrik yüklerine dönüştürerek organik bileşiklerde elektrolüminesans (EL) üretmeye dayanmaktadır (Petrova & Tomova, 2010; Marzouk Raftani et al., 2025). Elektrik akımı uygulandığında, elektronlar ve delikler, sırasıyla organik bileşiğin LUMO'sunda (iletkenlik bandı) katottan ve organik malzemenin değerlik bandında (HOMO) anottan EML (Işık Yayan Katman) katmanına taşımaktadır (M Raftani, Abram, Kacimi, Bennani, & Bouachrine, 2020; Marzouk Raftani et al., 2025). DTP'ler, organik elektronik cihazlarda veya şarj edilebilir pillerde elektrot malzemesi olarak polimerik formda uygulama için organik yarı iletken malzemelerde oldukça ilgi çekici ve sıklıkla kullanılan çok işlevli ve elektronca zengin yapı taşlarını temsil eder (Mike, Shao, Jeon, & Lutkenhaus, 2014; Rasmussen & Evenson, 2013; Schlyer, Schauerte, Steel, & Gafni, 1994; Vogt et al., 2023; Wong, Ko, Lam, Zhu, & Yam, 2009).

Benzotriazoller (BTA) , özellikle organik sentezde geniş bir uygulama yelpazesine sahip önemli bir heterosiklik bileşik sınıfıdır (Briguglio et al., 2015; Katritzky & Rachwal, 2010; Larina & Lopyrev, 2009; Loddo et al., 2015; Lv, Ma, Li, & Xu, 2018; Melnikov et al., 2023). BTA türevleri biyoloji, tarımda biyolojik olarak aktif maddeler ve tıp gibi alanlarda oldukça önem arz etmektedir (Katritzky & Rachwal, 2010; Larina & Lopyrev, 2009; Melnikov et al., 2023). BTA'nın tautomerizmi uzun zamandır önemli bir ilgi görmektedir. Hem 1H-BTA hem de 2H-BTA tautomerik formlarının yapısı ve göreceli kararlılığı, çeşitli teorik seviyelerde çalışmaların ilgi konusu olmuştur. Kullanılan yöntemlere ve temel setlere bağlı olarak farklı sonuçlar elde edilmiştir. Son zamanlarda, HF ve MP2V yöntemleri sırasıyla 1H-BTA ve 2H-BTA tautomerik formlarına açık bir tercih gösterirken, B3LYP ve birleştirilmiş küme yöntemleri her iki yapının da benzer bir enerjiye sahip olduğunu göstermektedir (Kołodziejczyk, Lewańska, Malik, & Morzyk-Ociepa, 2023). Hesaplamaları gerçekleştirmek için Gaussian 16W paket programının DFT/B3LYP/6-311G yöntemi yardımı ile teorik hesaplamalar yapılmıştır (Danish, Kores, Chelliah, Sankar, & Jebaraj, 2024).

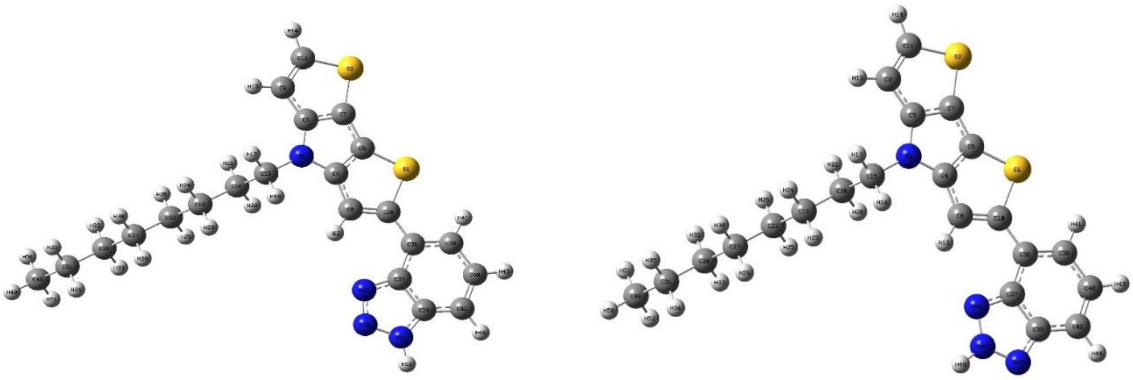
Bu çalışmada ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol (DTP) bazlı iki bileşiğin (ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-1H-benzotriazol ve ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-2H-benzotriazol) OLED etkisini analiz etmek için teorik hesaplama yöntemi kullandık. Burada donör olarak ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol ve akseptör olarak 1H-benzotriazol (1H-BTA) ve 2H-

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

benzotriazol (2H-BTA) kullanarak D-A tipi moleküller tasarladık. Tasarlanan bu moleküllerin yapı-özellik ilişkilerini daha iyi anlamak için fotovoltaik verimliliği etkileyen parametreleri aydınlatmaktır.

2. TEORİK ÇALIŞMALAR

Hesaplamada gerçekleştirilen tüm hesaplamalar, Gaussain 16W paket programı kullanılarak yürütülmüştür. Hesaplamalarda 6-311G temel seti ile birlikte B3LYP, CAM-B3LYP ve WB97XD hibrit fonksiyonellerinden yararlanılmıştır (Bhatta, Pellicane, & Tsige, 2015; Danish et al., 2024). Ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-1H-benzotriazol (DTP-1H) ve ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-2H-benzotriazol (DTP-2H) moleküllerinin DFT/B3LYP teori seviyesinde 6–311G temel seti kullanılarak optimize edilmiş temel hal geometrisi (GSG) diyagramları aşağıda görsel 1'de sunulmuştur.



Ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-1H-benzotriazol (DTP-1H)

Ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-2H-benzotriazol (DTP-2H)

Görsel 1. Ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-1H-benzotriazol (DTP-1H) ve ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol-2H-benzotriazol (DTP-2H) moleküllerinin DFT/B3LYP teori seviyesinde 6–311G temel seti kullanılarak optimize edilmiş temel hal geometrisi (GSG) diyagramları

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Hesaplanan HOMO, LUMO, Egap ve ΔE_{ST} değerleri aşağıda çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Moleküllerin DFT/B3LYP teori seviyesinde 6–311G temel seti kullanılarak hesaplanan E_{HOMO}, E_{LUMO} ve ΔE_{ST} (B3LYP, CAM-B3LYP ve WB97XD) değerleri

Molekül	E_{HOMO} (eV)	E_{LUMO} (eV)	Egap (eV)	B3LYP ΔE_{ST} (eV)	CAM-B3LYP ΔE_{ST} (eV)	WB97XD ΔE_{ST} (eV)
DTP-1H	-5,1126	-1,8765	3,2361	1,0671	1,4965	1,4404
DTP-2H	-5,0867	-1,9677	3,1190	1,0710	1,5955	1,5309

Çizelge 1'de HOMO enerjisinin yükselmesi (−5,11 eV'den −5,08 eV'e) ile donör gücünün artmasıyla delik enjeksiyonunun Delik Taşıma Katmanı (HTL) / Işık Yayan Katman (EML) ara yüzünde biraz daha kolay olacağı öngörülebir. LUMO enerjisinin stabil olması (−1,88 eV'den 1,97 eV'e) elektron kabul kabiliyeti çok sınırlı da olsa artmıştır, denilebilir. Ancak hâlâ ETL (Elektron Taşıma Katmanı) özelliğine sahip değildir. E_{gap}'in daralması (~0,12 eV) ile

konjugasyonun artması, simetrinin güçlenmesi ve emisyon dalga boyunda hafif kırmızıya kayma da olacağı söylenebilir.

Çizelge 2. Moleküllerin DFT/B3LYP teori seviyesinde 6–311G temel seti kullanılarak hesaplanan Eex, λ ve *f* değerleri

Molekül	**E_{ex} (eV)**	**λ (nm)**	***f***
DTP-1H	3,0123	411,59	0,6834
DTP-2H	2,8835	430,13	0,5624

DTP-1H yapısından DTP-2H yapısına geçişde, E_{ex} değerinde düşme dolayısıyla dalga boyunun kırmızıya kaydığı görülmektedir. Böylelikle, DTP-2H yapısının daha güçlü π-konjugasyon ve daha etkin D–A etkileşim sağladığı öngörülebilir. Bu sonuçlar daha dar E_{gap} ve daha stabil olmuş uyarılmış singlet hâli ile tutarlılık sergilemektedir. Hem DTP-1H hem de DTP-2H'nin osilatör kuvvetinin (*f*'in) yüksek olması güçlü ışık soğurma ve emisyon potansiyelini etkilemektedir. Ancak DTP-2H osilatör kuvvetinde bir miktar azalma vardır; bu da yük transfer (CT) karakterinin artması ile açıklanabilir. OLED literatüründe CT karakterinin artması ile ΔE_{ST}'nin düşebileceği beklenen bir durumdur. Ancak osilatör kuvveti genellikle bir miktar azalır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada DTP-1H ve DTP-2H tautomer yapılarının elektronik ve optik özellikleri DFT ve TD-DFT hesaplamaları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. DTP çekirdeğindeki protonasyon durumunun değiştirilmesiyle, HOMO enerji seviyesinin yükseldiği, LUMO enerji seviyesinin ise belirgin biçimde stabilize olduğu ve buna bağlı olarak bant aralığının daraldığı belirlenmiştir. Bu elektronik düzenlenme, uyarılmış hâl enerjisinin 3,01 eV'den 2,88 eV'ye düşmesine ve emisyon dalga boyunun 411 nm'den 430 nm'ye kırmızıya kaymasına yol açmıştır. Her iki yapı da yüksek osilatör kuvveti değerleri sergileyerek güçlü optik geçiş potansiyeline sahip olsa da, DTP-2H sisteminde gözlenen osilatör kuvvetindeki göreceli azalma, artan yük-transfer karakteri ile ilişkilendirilmektedir. Buna karşın, hem B3LYP hem de uzun menzilli düzeltme içeren fonksiyonellerle hesaplanan ΔE_{ST} değerlerinin yüksek olması, singlet ve triplet uyarılmış hâller arasındaki ayrımın korunduğunu ve ters spin geçişinin (RISC) baskılandığını göstermektedir. Bu nedenle incelenen DTP-BTA (ditieno[3,2- *b* :2′,3′- *d*]pirol - benzotriazol) sistemleri, TADF yayıcılar olarak uygun bulunmazken; yüksek delik taşıma kabiliyeti, geniş bant aralığı ve güçlü optik geçiş özellikleri sayesinde donör çekirdek, floresans EML bileşeni veya elektron bloklayıcı (EBL) katmanlarda kullanılabilecek potansiyel adaylar olarak öne çıkmaktadır. DTP-2H yapısının, daha dar bant aralığına sahip olması, uyarılmış hâl enerjisinin düşerek emisyonun kırmızıya kayması ve yüksek osilatör kuvvetine sahip olması sayesinde, DTP-1H yapısına kıyasla daha güçlü π-konjugasyonlu ve optik olarak daha etkin bir aday olduğu söylenebilir.

KAYNAKÇA

Anthony, J. E. (2006). Functionalized acenes and heteroacenes for organic electronics. *Chemical reviews, 106*(12), 5028-5048.

Bhatta, R. S., Pellicane, G., & Tsige, M. (2015). Tuning range-separated DFT functionals for accurate orbital energy modeling of conjugated molecules. *Computational and theoretical Chemistry, 1070*, 14-20.

Bourass, M., Benjelloun, A. T., Benzakour, M., Mcharfi, M., Jhilal, F., Serein-Spirau, F., . . . Bouachrine, M. (2017). DFT/TD-DFT characterization of conjugational electronic structures and spectral properties of materials based on thieno [3, 2-b][1] benzothiophene for organic photovoltaic and solar cell applications. *Journal of Saudi Chemical Society, 21*(5), 563-574.

Briguglio, I., Piras, S., Corona, P., Gavini, E., Nieddu, M., Boatto, G., & Carta, A. (2015). Benzotriazole: An overview on its versatile biological behavior. *European Journal of Medicinal Chemistry, 97*, 612-648.

Chen, H., Cui, Q., Yu, G., Guo, Y., Huang, J., Zhu, M., . . . Liu, Y. (2011). Synthesis and characterization of novel semiconductors based on thieno [3, 2-b][1] benzothiophene cores and their applications in the organic thin-film transistors. *The Journal of Physical Chemistry C, 115*(48), 23984-23991.

Chen, W.-C., Yuan, Y., Wu, G.-F., Wei, H.-X., Ye, J., Chen, M., . . . Lee, C.-S. (2015). Molecular modification on bisphenanthroimidazole derivative for deep-blue organic electroluminescent material with ambipolar property and high performance. *Organic Electronics, 17*, 159-166.

Chen, W. C., Zhu, Z. L., & Lee, C. S. (2018). Organic light-emitting diodes based on imidazole semiconductors. *Advanced Optical Materials, 6*(18), 1800258.

Danish, I. A., Kores, J. J., Chelliah, D. A., Sankar, T. B., & Jebaraj, J. W. (2024). In silico analyses of solvent effects, toxicity, NBO, homo-lumo and hole-electron transfer of 7-hydroxy-2-nitrofluoranthene. *Journal of the Indian Chemical Society, 101*(5), 101147.

Duan, L., Zhang, D., Wu, K., Huang, X., Wang, L., & Qiu, Y. (2011). Controlling the recombination zone of white organic light-emitting diodes with extremely long lifetimes. *Advanced Functional Materials, 21*(18), 3540-3545.

Ebata, H., Miyazaki, E., Yamamoto, T., & Takimiya, K. (2007). Synthesis, Properties, and Structures of Benzo [1, 2-b: 4, 5-b ‘] bis [b] benzothiophene and Benzo [1, 2-b: 4, 5-b ‘] bis [b] benzoselenophene. *Organic Letters, 9*(22), 4499-4502.

Han, C. W., Park, J. S., Choi, H. S., Kim, T. S., Shin, Y. H., Shin, H. J., . . . Kim, B. S. (2014). Advanced technologies for UHD curved OLED TV. *Journal of the Society for Information Display, 22*(11), 552-563.

Jeux, V., Segut, O., Demeter, D., Rousseau, T., Allain, M., Dalinot, C., . . . Roncali, J. (2015). One step synthesis of DAD chromophores as active materials for organic solar cells by basic condensation. *Dyes and Pigments, 113*, 402-408.

Katritzky, A. R., & Rachwal, S. (2010). Synthesis of heterocycles mediated by benzotriazole. 1. Monocyclic systems. *Chemical reviews, 110*(3), 1564-1610.

Kołodziejczyk, E., Lewańska, M., Malik, M., & Morzyk-Ociepa, B. (2023). Structures, vibrational spectra and microbiological activity of 5-methylbenzotriazole tautomers stabilized by NH⋯ N intermolecular hydrogen bonds. *Journal of Molecular Structure, 1294*, 136489.

Larina, L., & Lopyrev, V. (2009). *Nitroazoles: synthesis, structure and applications*: Springer Science & Business Media.

Loddo, R., Novelli, F., Sparatore, A., Tasso, B., Tonelli, M., Boido, V., . . . Giliberti, G. (2015). Antiviral activity of benzotriazole derivatives. 5-[4-(Benzotriazol-2-yl) phenoxy]-2, 2-dimethylpentanoic acids potently and selectively inhibit Coxsackie Virus B5. *Bioorganic & Medicinal Chemistry, 23*(21), 7024-7034.

Lv, M., Ma, J., Li, Q., & Xu, H. (2018). Discovery of benzotriazole-azo-phenol/aniline derivatives as antifungal agents. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters, 28*(2), 181-187.

Melnikov, I. N., Kiselev, V. G., Dalinger, I. L., Starosotnikov, A. M., Muravyev, N. V., & Pivkina, A. N. (2023). Thermochemistry, tautomerism, and thermal stability of 5, 7-dinitrobenzotriazoles. *International Journal of Molecular Sciences, 24*(6), 5330.

Mike, J. F., Shao, L., Jeon, J.-W., & Lutkenhaus, J. L. (2014). Charge storage in decyl-and 3, 6, 9-trioxadecyl-substituted poly (dithieno [3, 2-b: 2, 3-d] pyrrole) electrodes. *Macromolecules, 47*(1), 79-88.

Muccini, M., & Toffanin, S. (2016). *Organic light-emitting transistors: towards the next generation display technology*: John Wiley & Sons.

Petrova, P., & Tomova, R. (2010). materials used for organic light-emitting diodes: organic electroactive compounds. *ChemInform, 41*(26), i.

Raftani, M., Abram, T., Kacimi, R., Bennani, M., & Bouachrine, M. (2020). Organic compounds based on pyrrole and terphenyl for organic light-emitting diodes (OLED) applications: design and electro-optical properties. *J. Mater. Environ. Sci, 11*, 933-946.

Raftani, M., Azaid, A., Abram, T., Alaqarbeh, M., Kacimi, R., Bennani, M., & Bouachrine, M. (2025). Theoretical investigation of the electro-optical properties of new II-conjugated molecules based on phenyl and pyrrole for organic light-emitting diodes (OLED) applications: a DFT approach. *Optical and Quantum Electronics, 57*(1), 110.

Rasmussen, S. C., & Evenson, S. J. (2013). Dithieno [3, 2-b: 2′, 3′-d] pyrrole-based materials: Synthesis and application to organic electronics. *Progress in Polymer Science, 38*(12), 1773-1804.

Schlyer, B. D., Schauerte, J. A., Steel, D. G., & Gafni, A. (1994). Time-resolved room temperature protein phosphorescence: nonexponential decay from single emitting tryptophans. *Biophysical journal, 67*(3), 1192-1202.

Sundar, D. S., Raja, A. S., Sanjeeviraja, C., & Jeyakumar, D. (2017). High temperature processable flexible polymer films. *International Journal of Nanoscience, 16*(03), 1650038.

Vogt, A., Stümpges, F., Bajrami, J., Baumgarten, D., Millan, J., Mena-Osteritz, E., & Bäuerle, P. (2023). Tunable Regioselectivity in C− H-Activated Direct Arylation Reactions of Dithieno [3, 2-b: 2’, 3’-d] pyrroles. *Chemistry–A European Journal, 29*(60), e202301867.

Wong, H. L., Ko, C. C., Lam, W. H., Zhu, N., & Yam, V. W. W. (2009). Design and Synthesis of a New Class of Photochromic Diarylethene-Containing Dithieno [3, 2-b: 2′, 3′-d] pyrroles and Their Switchable Luminescence Properties. *Chemistry–A European Journal, 15*(39), 10005-10009.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FURAN MODİFİKASYONLU DTP TÜREVLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİNİN MOLEKÜLER KENETLENME YÖNTEMİYLE ARAŞTIRILMASI

Öğr. Gör. Dr. Yasemin KEŞKEK KARABULUT[1]
Kırklareli Üniversitesi, Rektörlük, Proje Geliştirme ve Koordinasyon Ofisi, Kırklareli, Türkiye
ykeskekkarabulut@klu.edu.tr - 0000-0002-6742-783X

Dr. Öğr. Üyesi Erhan ÖZTÜRK[2]
Iğdır Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Iğdır, Türkiye
kimyagerhan@hotmail.com - 0000-0003-4006-2428

Doç. Dr. Zeynep Şilan TURHAN[3]
Iğdır Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyokimya, Iğdır, Türkiye,
zeynepsilanturhan@hotmail.com - 0000-0002-3587-2576

ÖZET

Dithieno[3,2-b:2′,3′-d]pirol (DTP) temelli malzemeler, son yıllarda birçok alanda önemli fonksiyonel bileşiklerin geliştirilmesinde dikkat çekici ilerlemeler göstermiştir. Tiyofen halkalarının kaynaşmasıyla oluşan DTP türevleri, yüksek düzeyde π-konjugasyonu sağlar. Bu çalışmada DTP, donör birim olmak üzere Donör-π-Akseptör (D-π-A) karakterine sahip türevler tasarlanmıştır. Akseptör birim olarak, son yıllarda elektron hareketliliğini artırma potansiyeliyle ön plana çıkan difenilfosfin oksit tercih edilmiştir. Bu iki yapı arasına furan ve bifuran gibi yapılar eklenerek (P7, P8, P9) yeni türevler tasarlanmıştır.

İlgili çalışmada; türevlerin ve referans ilaç olarak fosfomisinin E.coli, Staphylococcus aureus ve Pseudomonas aeruginosa üzerinde antibakteriyel özelliklerinin değerlendirilmesi amacıyla moleküler kenetlenme çalışmaları Autodock Vina programı yapılmış ve inhibe etme potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmada protein veri bankasında yer alan yapılardan çözünürlük katsayısı, yapıda mutasyon olup olmadığı, çözünme tipi ve çözünme yılı dikkate alınarak uygun pdb kodlu yapılar seçilmiştir (4PRV, 6J7J ve 1MWT). Seçilen yapılarda X-ray kristal yapısında yer alan ligandın yapıdan çıkarılması ve aynı enzim molekülüne moleküler kenetlenme programı kullanılarak yeniden yerleştirilmesiyle validasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, bileşiklerin antibakteriyel özellik gösterdiği teorik olarak hesaplanmıştır. İlgili yapıların E.coli, Staphylococcus aureus ve Pseudomonas aeruginosa ile moleküler kenetlenme sonucu konumları ve moleküller arası etkileşimleri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Moleküler Kenetlenme; DTP; E.coli; Staphylococcus aureus; Pseudomonas aeruginosa.

1. GİRİŞ VEYA BAŞLIK

Ditiyol [3,2-b:2′,3′-d]pirol (DTP), pirol halkasına kaynaşmış iki tiyofen halkasından oluşan bitişik halka sistemlerini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Son yıllarda oligo ve poli ditiyolpiroller, düzlemsel yapısı, yeni bir yapıda konjuge π sistemi ve halka sistemindeki (DTP) N-H bağının alkil gruplarıyla kolay fonksiyonelleştirilebilmesinden dolayı N-alkil DTP bileşikleri nanotekonoloji, organik sentez kimyası ve polimer kimyası alanından pek çok araştırmacının çalışma konusu olmuştur. Ditiyol [3,2-b:2′,3′-d]pirol (DTP) bileşikleri çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmaktadır [1-2].

Elde edilen malzemenin özelliklerini kontrol etmek amacıyla genellikle bazı sentez stratejileri (monomere fonksiyonel birimler ekleme , kopolimerizasyon elde etme ve Donör (D)-Akseptör (A) yaklaşımı) kullanılır. Azaltılmış bant aralığı ve ayarlanmış HOMO ve LUMO enerji seviyeleri, daha düşük oksidasyon potansiyeli, daha yüksek absorbans başlangıcı ve tatmin edici optik kontrast ile sonuçlanır. Bu nedenle, bilim insanları tarafından azaltılmış veya istenen bant aralığı değerlerine sahip yapılar elde etmek için büyük çabalar sarf edilmiştir. Donör-akseptör (DA) yaklaşımı en çok kullanılan stratejilerden biridir. Bu yaklaşımda, güçlü bir donör ve bir akseptör biriminin sırasıyla yüksek bir HOMO enerji seviyesine ve düşük bir LUMO seviyesine sahip olması istenir [3].

Elektron açısından zengin konjuge beş üyeli yapılar, örneğin tiyofenler, furan pirolleri ve selenofenler , genellikle düşük oksidasyon potansiyeline sahip elektrokromlar elde etmek için donör birimler olarak kullanılır . Neyse ki, bu sistemler sentetik modifikasyona oldukça uygundur. Bu yapılar arasında, farklı alt birimlere sahip tiyofen ve pirol ile elde edilen birçok yapı vardır [4-6]. Yapıların özelliklerini daha etkili hale getirmek için kullanılan yöntemlerden biri, tekrarlayan aromatik halkaların siklizasyonudur. Halkaların füzyonu, halkalar arasındaki dönme hareketini azaltarak ana zincirin yapısal sağlamlığını artırır . Bu tür bir oluşum, sistemin düzlemselliğini artırır ve π orbitallerinin daha iyi örtüşmesini sağlar. Örneğin, iki tiyofen halkasının birbirine kenetlenmesi, halkalar arası mesafeyi tiyofen birimine kıyasla azaltır ve bu da kinoide neden olur. Bu nedenle, birçok yapının omurgasına kaynaşmış tiyofen türevlerinin dahil edilmesi son zamanlarda oldukça popüler hale geldi. Bu sert ve eş düzlemli yapı, etkili π-konjugasyonunu artırdığı, bant aralığını düşürdüğünü göstermiştir [7-10].

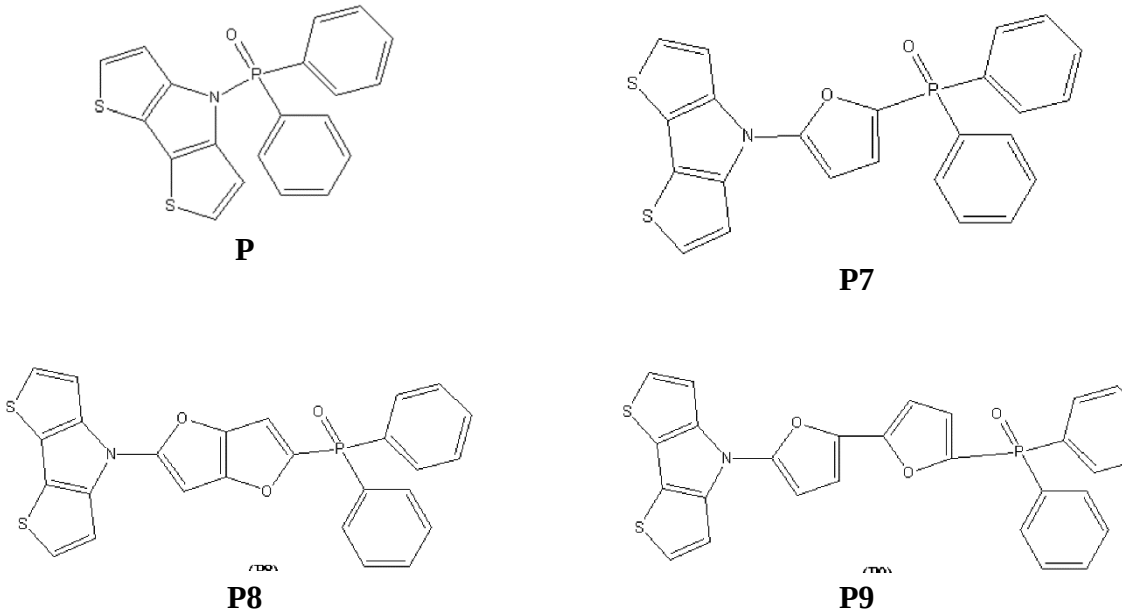
Antibakteriyel direnç, küresel çaptaki sağlık sorunları arasında en büyük olanıdır ve halk sağlığını da oldukça fazla tehdit eder. Yeni nesil antibiyotiklerin kullanılması, doğal antibakteriyellerde kombinasyon ve antibakteteriyel özellik gösteren kimyasal yapıların hibridizasyonu (yeni türevlerin oluşturulması) bu alandaki önemli yaklaşımlar arasında yer alır. Hibridizasyon, ilaç dirençlerini yenmek ve biyolojik aktiviteleri arttırmak için ilaç geliştirmek amacıyla son yıllarda oldukça sık kullanılan umut vadeden bir yöntemdir [11].

Moleküler yerleştirme yöntemi, bir bağlanma modeli oluşturan iki molekülün etkileşimini tahmin etmek için kullanılan hesaplamalı bir yöntemdir. Birçok ilaç keşfi uygulamasında kenetlenme, küçük bir molekül ile bir makromolekül arasında, örneğin protein-ligand kenetlenmesiyle yapılır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda ise, kenetlenme, örneğin protein-protein kenetlenmesi gibi iki makromolekül arasındaki bağlanma modunu tahmin etmek için de uygulanmaktadır. Son 15 yıldan fazla bir süredir moleküler yerleştirmeyle ilgili yayınların sayısı önemli ölçüde artmıştır [12]. Moleküler yerleştirme gibi yaklaşımlar günümüzde milyonlarca bileşiğin uygun bir sürede sanal olarak taranmasını sağlayarak, deneysel

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

çalışmaların tanımlamasının ilk maliyetlerini düşürmekte ve istenen ilaç adaylarını bulma şansını artırmaktadır. Şu anda, ilaç keşfi görevlerini kolaylaştırmak için çeşitli moleküler modelleme teknikleri mevcuttur ve bunların çoğu yapı tabanlı ve ligand tabanlı yaklaşımlar olarak sınıflandırılmaktadır [13].

Çalışma da DTP, elektron veren, DPPO yapısı ise elektron alıcı birim olmak olarak tercih edilmiş **(P)** ve bu iki yapı arasına furan türevli **P7**, **P8** ve **P9** yapıları tasarlanmıştr. Referans olarak ise piyasada aktif ilaç etken maddesi olarak kullanılan Fosfomisin yapısı tercih edilmiş ve çalışmalara dahil edilmiştir. Çalışılan türevlerin molekül yapısı Görsel 1'de görülebilir.



Görsel 1. P, P7, P8 ve P9 Türevlerinin kimyasal yapısı

2. TEORİK ÇALIŞMALAR

2.1. Referans (Fosfomisin) ve Türevlerin P ve P7, P8, P9 Teorik Hesaplamaları

Bu çalışmada ilk olarak kuantum kimyasal hesaplamalar için Gaussian09 paket programı kullanılmıştır. Bu program, moleküler sistemlerin elektronik yapılarını araştırmak amacıyla geliştirilmiş, yaygın olarak tercih edilen bir hesaplamalı kimya yazılımıdır. Kimya alanındaki geleneksel ve ileri düzey araştırmalara katkı sağlayan bu program, deneysel yöntemlerle incelenmesi güç ya da imkânsız olan moleküller, geçiş halleri ve ara ürünlerin detaylı analizinde etkin bir rol oynamaktadır. Aynı zamanda, potansiyel reaksiyon mekanizmalarını değerlendiren araştırmacılar için de önemli bir araç niteliğindedir. Gaussian09, moleküllerin enerji seviyeleri, yapısal özellikleri ve spektral analizleri gibi çeşitli alanlarda kapsamlı modelleme olanağı sunarak hesaplamalı kimya çalışmalarına büyük katkı sağlar [14].

Gaussian yazılımına ait paket programlar için giriş (input) dosyalarını oluşturmak ve Gaussian çıktılarının görselleştirilmesini sağlamak amacıyla geliştirilmiş bir grafik arayüzü olarak GaussView 5.0.8 programı kullanılmıştır. Bu arayüz, Gaussian formatında tanımlanan moleküllerin görsel olarak incelenmesine olanak tanır ve yapıların döndürülmesi, taşınması

veya moleküler değişikliklerin yapılmasını kolaylaştırır. Ayrıca, karmaşık hesaplamalar için dahi giriş dosyalarının hızlı ve pratik bir şekilde hazırlanmasını mümkün kılar [15].
Referans (Fosfomisin) ve türevlerin (P, P7, P8 ve P9) molekül yapıları gaussian 09 programı arayüzü yardımıyla çizilmiştir ve gaz fazında kuantum kimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi için GEN anahtarıyla DFT/B3LYP seviyesinde 6-311G optimize edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda antimikrobiyal özelliği değerlendirilip bakteriler üzerindeki etkilerini görmek için moleküler kenetlenme hesaplamaları da yapılmıştır.
Antimikrobiyal tanımlayıcı LUMO ve yoğunluk (d) değerlerine göre açıklanır [16]. Yoğunluk azaldığında hücre zarı üzerine yayılma potansiyeli ve etkileşim, penetrasyon kapasitesi artar. Bu durumda da, antibakteriyel etki artar.
P, P7, P8 ve P9 türevlerinin E_{LUMO} ve yoğunluk değerleri incelendiğinde, her ikisinin de referans ligand olan fosfomisine göre daha düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu değerlerden yola çıkarak, kuantum kimyasal hesaplamalar açısından türevlerin antimikrobiyal özellik gösterdiği söylenebilir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Referans (Fosfomisin) ve türevlerin (P, P7, P8 ve P9) E_{LUMO} ve yoğunluk değerleri

Molekül	**E_{LUMO} (eV)**	**Yoğunluk (g/cm^3)**
Fosfomisin	- 0,5075	1,8309
P	-1,6204	1,5539
P7	-1,5835	1,2219
P8	-1,7502	1,4078
P9	-1,8555	1,3933

2.2. Referans (Fosfomisin) ve Türevlerin (P, P7, P8 ve P9) Moleküler Kenetlenme Hesaplamaları

Bu çalışmada moleküler kenetlenme hesaplamalarını gerçekleştirmek adına AutoDock Vina programı kullanılmıştır. Bu program, 2010 yılında AutoDock'un geliştirildiği laboratuvar tarafından tasarlanmış bir kenetlenme (moleküler kenetlenme) yazılımıdır. Program, yerel ve global optimizasyon tekniklerini bir arada kullanan etkili bir algoritmaya sahiptir. AutoDock Vina, önceki versiyon olan AutoDock'a kıyasla yaklaşık iki kat daha hızlı kenetlenme işlemi gerçekleştirebilmektedir. Diğer moleküler kenetlenme yazılımlarında olduğu gibi, bu yazılım da sistemin kimyasal potansiyellerini yaklaşık olarak değerlendiren bir skorlama fonksiyonuna dayanır. AutoDock Vina'da kullanılan skorlama fonksiyonu, Xscore'un geliştirilmiş bir versiyonudur.
Skorlama fonksiyonları, fizik tabanlı terimler olan 6-12 van der Waals etkileşimlerini ve Coulomb enerjilerini içermektedir. Ancak, deneysel enerji ile serbest enerji değerleri arasındaki farklılıkları daha doğru bir şekilde yansıtabilmek için bu fonksiyonlarda bazı düzenlemeler yapılması gerekebilir. Bu bağlamda, hidrofobik atomlar arasındaki hidrofobik etkileşimler, hidrojen bağları ve atom çiftleri arasındaki sterik etkileşimlerin toplam etkisi dikkate alınmalıdır. Bu parametrelerin skorlama fonksiyonuna dahil edilmesi, hassasiyetin artırılması adına konfigürasyon dosyasında özelleştirmeler yapılmasını gerektirebilir [17]. Ayrıca, AutoDockTools (ADT) olarak bilinen bir grafik kullanıcı arayüzü de mevcuttur. ADT, ligandda

hangi bağların dönebilir olarak tanımlanacağını ayarlamak ve yerleştirme sonuçlarını analiz etmek gibi işlevlerde araştırmacılara kolaylık sağlamaktadır [18].

Hem Gram pozitif bakteri Staphylococcus aureus hem de Gram negatif bakteri Escherichia coli ve Pseudomonas aeruginosa , çeşitli enfeksiyonlardan sorumlu olan çoklu ilaca dirençli patojenlerdir. RSCB Protein data bank da yer alan ve literatür taraması ile bulunan tüm çözünmüş enzimler veribankasından tarandı. Kullanılan Protein Veri Bankası (PDB), proteinler ve nükleik asitler gibi büyük biyolojik moleküllerin üç boyutlu yapılarını içeren bir veritabanıdır. Bu veritabanındaki yapısal bilgiler, genellikle X-ışını kristalografisi veya nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi yöntemleriyle elde edilmektedir. Araştırmacılar, Protein Veri Bankası'nda sunulan bu yapı verilerine dünyanın her yerinden ücretsiz olarak erişim sağlayabilirler. Veritabanında yer alan makromoleküller, .pdb dosya formatında sunulmaktadır. Bu dosyalar, adlandırılırken bir rakam ve belirli bir harf kodlama sisteminden oluşan toplam dört karakter kullanılır. PDB dosya formatı; proteinin atomik koordinatlarını, birincil ve ikincil yapı bilgilerini, kristalografik yapı faktörlerini, çözünme değerlerini ve yapı dizilim bilgilerini içerir. Ayrıca, bu dosya formatı, ilaç tasarımında yaygın olarak kullanılan yazılımların büyük çoğunluğu tarafından sorunsuz bir şekilde entegre edilebilmektedir [19].

Tüm enzimlerin R değerleri, Çözünme şekilleri ve ekli ligandları ile birlikte, literatürde var olan yapılmış çalışma sonuçları dikkate alınarak seçim yapıldı. Tüm parametreler değerlendirildiğinde Çizelge 2'de görülen 3 çözünmüş yapı moleküler kenetlenme çalışmaları için seçildi.

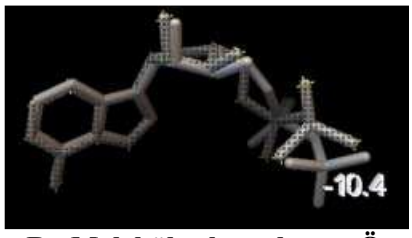
Çizelge 2. RSCB Database (Protein Veri Bankası)ndan seçilen patojen yapıları

Kod	Kaynak	Mutasyon	Çözünürlük	Metod	Yıl	Ligandı	Tanım
4PRV	Escherichia coli	Yok	2.00 A^0	X-Ray	2014	ADP, MG	E. coli GyrB 43-kDa N-terminal fragment in complex with ADP
6J7J	Pseudomonas aeruginosa	Yok	1.75 A^0	X-Ray	2019	MES	Pseudomonas aeruginosa PAO1
1MWT	Staphylococcus aureus	Yok	2.45 A^0	X-Ray	2002	PNM, CD, CL	Structure of penicillin G acyl-Penicillin binding protein 2a from methicillin resistant Staphylococcus aureus strain 27r at 2.45 A resolution.

Çalışmanın diğer aşamasında Autodock Vina programının uygunluğunu kontrol etmek adına yöntem validasyonu yapılmıştır. Moleküler kenetlenme metodunun validasyonu, X-ray kristal yapısında yer alan ligandın yapıdan çıkarılması ve aynı enzim molekülüne moleküler kenetlenme programı kullanılarak yeniden yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen konformasyonların, referans yapıdaki konformasyon ile karşılaştırılarak sapma değerlerinin incelenmesi sağlanır. Bu çalışmada validasyon amacıyla 4PRV [20] yapısında bulunan ADP ligandı kullanılmıştır. Enzimden çıkarılan ADP ligandı, AutoDock

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Vina programı yardımıyla tekrar aynı bölgeye yerleştirilmiş ve 4PRV enzimi ile moleküler kenetlenme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Görsel 2. ADP Ligandının Re-Moleküler kenetlenme Öncesi ve Sonrası Görüntüsü

Moleküler kenetlenme sonucunda en iyi yerleşme gösteren ligand konformasyonunun RMSD değeri 1,425 A^0 olarak bulunmuştur. RMSD değeri 2 A^0'dan küçük olduğundan dolayı autodock vina programının seçilen sistem için uygun olduğu belirlenmiştir [21].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

AutoDock Vina ile moleküler kenetlenme işlemi gerçekleştirmek için, ADT arayüzü kullanılarak hazırlanan .pdbqt formatındaki enzim ve ligand dosyalarını içeren bir konfigürasyon dosyası oluşturulmuştur. Bu dosyada; moleküler kenetlenme yapılacak enzim ve ligand dosyalarının isimleri ve formatları, hedef bölgenin kartezyen koordinatları ve moleküler kenetlenme alanının genişliğini tanımlayan parametreler yer almaktadır. Ayrıca, moleküler kenetlenme işleminin gerçekleştirileceği grid haritasının kartezyen koordinatları ve grid kutusunun boyut bilgileri de bu dosyada tanımlanmıştır. Konfigürasyon dosyası, ligandların ve makromoleküllerin hazırlanmasından sonra AutoDock Vina tarafından hesaplamalarda kullanılan tek giriş dosyasıdır. Program tarafından Fosfomisin ve DPPO türevleri olan P, P7, P8 ve P9 için bir log ve out dosyası yine .pdbqt formatında oluşturulmuştur.Seçilen 4PRV *E.coli dna griaz* proteini, 6J7J *Pseudomonas Aeruginosa* ve 1MWT *Staphylococcus Aureus* proteinleri ile Fosfomisin, P, P7, P8 ve P9'nın olası 9 konformasyonu değerlendirilmiştir. Çizelge 3'te oluşturan log dosyaları görülmektedir.

Çizelge 3. Fosfomisin, P, P7, P8 ve P9'un Autodock Vina programı tarafından oluşturulan log dosyaları

Türevler	4PRV (E.coli)	6J7J (Pseudomonas Aeruginosa)	1MWT (Staphylococcus Aureus)
Fosfomisin	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 5.2 0.000 0.000 2 -5.1 1.460 2.107 3 -5.0 1.864 2.616 4 -5.0 2.407 2.865 5 -4.8 2.242 3.381 6 4.7 1.456 2.232 7 -4.6 1.254 2.049 8 -4.5 2.365 3.177 9 -4.5 2.289 3.294 Writing output ... done.	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 -4.3 0.000 0.000 2 -4.2 1.411 2.306 3 -4.1 35.273 36.059 4 -4.0 34.896 35.659 5 4.0 1.610 2.492 6 -4.0 35.278 36.043 7 -3.9 35.266 36.212 8 -3.8 19.828 20.630 9 -3.8 19.989 20.791 Writing output ... done.	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 -4.0 0.000 0.000 2 4.0 1.947 2.775 3 3.8 1.929 2.843 4 -3.7 2.078 2.301 5 -3.6 2.251 3.499 6 -3.5 2.089 2.739 7 3.4 4.565 5.436 8 3.4 2.397 3.592 9 -3.4 3.968 4.858 Writing output ... done.
P	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 -5.9 0.000 0.000 2 -5.9 2.758 4.864 3 5.8 2.726 5.183 4 5.8 2.686 4.256 5 -5.8 2.755 4.693 6 -5.7 2.634 5.220 7 5.7 2.763 5.368 8 -5.6 2.947 5.906 9 -5.6 3.102 4.527 Writing output ... done.	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 -6.0 0.000 0.000 2 -5.9 0.291 2.726 3 5.9 2.678 5.099 4 -5.7 12.894 15.388 5 -5.7 13.864 15.185 6 -5.7 17.414 20.636 7 -5.6 13.946 15.345 8 -5.6 2.600 5.657 9 5.5 24.511 27.494 Writing output ... done.	mode | affinity (kcal/mol) | dist from best mode rmsd l.b. | rmsd u.b. 1 -5.7 0.000 0.000 2 -5.7 1.686 4.988 3 -5.6 0.253 2.723 4 -5.5 1.743 4.423 5 -5.5 16.178 18.036 6 -5.3 2.746 4.695 7 -5.3 1.265 3.063 8 5.2 2.123 5.002 9 5.1 15.630 17.735 Writing output ... done.

P7

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-8.4	0.000	0.000
2	-8.2	0.211	2.488
3	-7.8	4.564	8.566
4	-7.7	2.368	5.210
5	-7.7	4.561	8.871
6	-7.7	2.355	4.604
7	-7.3	5.332	8.893
8	-7.3	1.719	4.628
9	-7.3	5.494	9.238

Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-7.2	0.000	0.000
2	-7.2	4.048	8.712
3	-7.2	1.680	2.315
4	-7.2	1.823	2.342
5	-7.1	13.787	18.139
6	-7.1	1.708	3.268
7	-7.0	14.078	18.048
8	-7.0	2.851	5.146
9	-7.0	13.647	17.991

Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-6.5	0.000	0.000
2	-6.2	3.536	7.878
3	-6.2	3.554	7.666
4	-6.1	7.986	11.839
5	-6.0	7.963	11.770
6	-6.0	14.409	17.099
7	-6.0	16.255	19.044
8	-6.0	16.059	18.998
9	-5.9	13.881	16.927

Writing output ... done.

P8

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-8.8	0.000	0.000
2	-8.6	0.115	2.368
3	-8.4	4.778	9.604
4	-8.3	4.766	9.340
5	-8.3	3.025	4.426
6	-8.2	3.021	5.003
7	-8.2	1.536	3.204
8	-8.1	3.590	5.361
9	-8.0	5.862	10.089

Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	8.0	0.000	0.000
2	-8.0	0.101	2.367
3	-7.6	1.495	3.556
4	-7.5	1.521	4.325
5	-7.0	1.847	3.995
6	7.0	10.143	14.848
7	-6.9	18.133	22.250
8	-6.9	18.151	22.171
9	-6.8	10.376	14.044

Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-6.9	0.000	0.000
2	-6.9	0.128	2.369
3	-6.3	3.923	9.068
4	-6.2	3.914	9.335
5	-6.1	10.534	13.724
6	-6.1	7.800	11.852
7	-6.1	1.821	3.720
8	-6.1	7.812	12.008
9	-6.1	1.808	4.394

Writing output ... done.

P9

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-8.6	0.000	0.000
2	-8.6	2.205	4.790
3	-8.6	2.188	4.243
4	-8.4	1.525	2.434
5	-8.3	3.936	8.899
6	-8.3	3.652	6.331
7	-8.2	6.168	8.457
8	-8.2	6.156	8.354
9	-8.1	6.333	8.890

Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-7.9	0.000	0.000
2	-7.9	0.207	2.445
3	-7.6	19.399	24.115
4	-7.5	19.377	24.254
5	-7.3	4.003	9.812
6	-7.2	4.076	9.684
7	-7.2	18.606	23.484
8	-7.1	14.172	18.750
9	-7.1	19.153	24.043

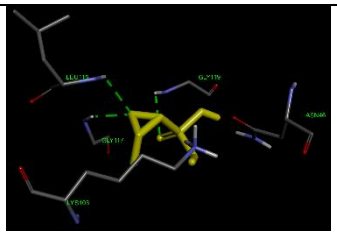
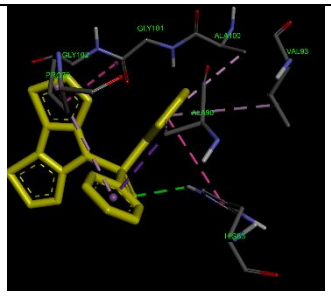
Writing output ... done.

mode	affinity (kcal/mol)	dist from best mode rmsd l.b.	rmsd u.b.
1	-8.1	0.000	0.000
2	-7.9	1.395	2.705
3	-7.8	1.398	3.462
4	-7.3	8.044	11.982
5	-7.3	8.048	11.828
6	-7.3	13.694	15.827
7	-7.2	12.711	15.186
8	7.1	1.735	3.156
9	-7.0	8.812	11.820

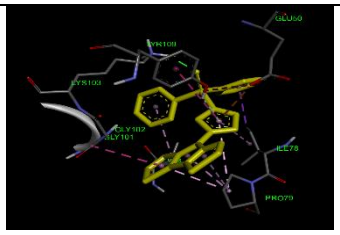
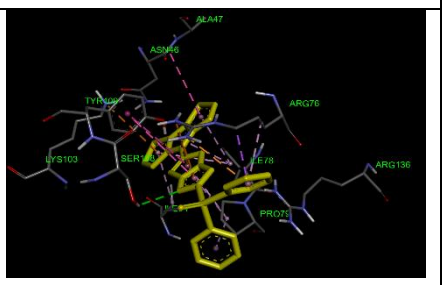
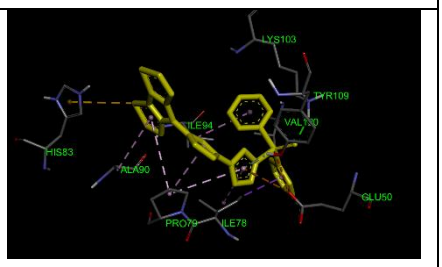
Writing output ... done.

Her bir yapı için 9 konformasyon belirlenmiştir ve sonuçlar ADT kullanıcı arayüzü yardımıyla yorumlanmıştır. En iyi bağlanmayı gösteren konformasyon seçilmiş ve aktif bölgede etkileşimde olduğu aminoasitler, etkileşim çeşitleri, aktif bölgedeki üç boyutlu pozisyonları Çizelge 4, 5 ve 6'da incelenmiştir.

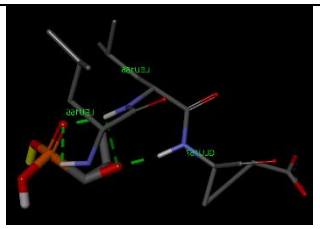
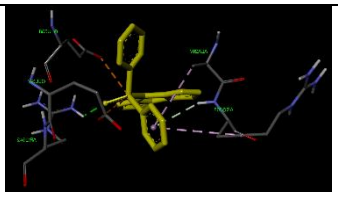
Çizelge 4. E.Coli (4PRV) Patojeni için Moleküler Kenetlenme Sonuçları

Yapı	Bağlanma Enerjisi	Etkileşimler	Etkileşimde olduğu Aminoasitler	Aktif Bölgedeki Görüntü
Fosfomisin	-5,2 kcal/mol	3 H Bağı (GLY119, LEU115 ve GLY117),	GLY119, LEU115, GLY117, ASN46, A103	
P	-5,9 kcal/mol	1 H Bağı (HIS83) Van der Waals Pi-sigma ve pi-alkil	VAL93, ALA100, ALA90, PRO79, HIS83, GLY101, GLY102	

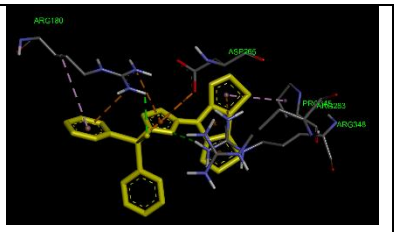
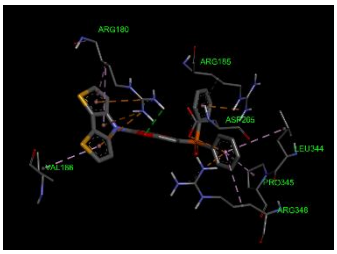
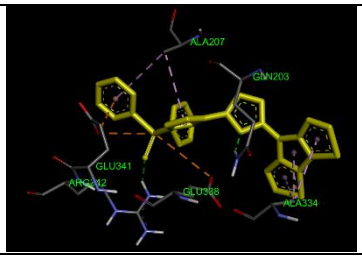
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

P7	-8,4 kcal/mol	1 H Bağı (LYS103) Van der Waals Etkileşimleri Pi-pi etkileşimleri Pi-sigma, pi-amid ve pi-alkil etkileşimleri	LYS103, ILE94, ILE78, TYR109, GLU50, PRO79, GLY102, GLY101	
P8	-8,8 kcal/mol	1 H Bağı (SER108) Pi-pi etkileşimleri Pi-sigma, pi-amid ve pi-alkil etkileşimleri	LYS103, TYR109, ILE94, ARG76, SER108, ARG136, PRO79, ASN46, ILE78	
P9	-8,6 kcal/mol	1H Bağı (LYS103) Pi-sigma ve pi-alkil etkileşimleri	VAL120, LYS103, ILE94, ALA90, HIS83, ILE78, TYR109, GLU50, PRO79	

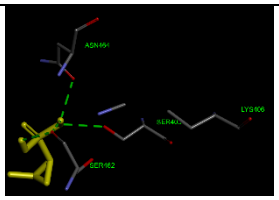
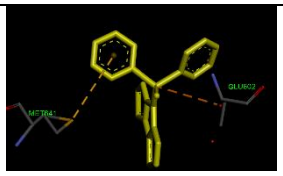
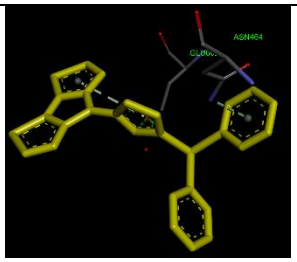
Çizelge 5. Pseudomonas aeruginosa (6J7J) Patojeni İçin Moleküler Kenetlenme Sonuçları

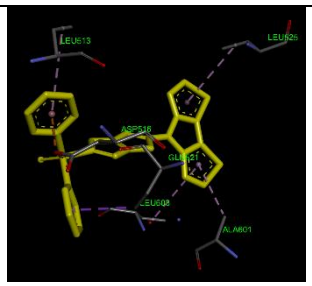
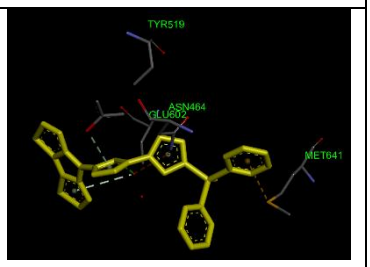
Yapı	Bağlanma Enerjisi	Etkileşimler	Etkileşimde olduğu Aminoasitler	Aktif Bölgedeki Görüntü
Fosfomisin	-4,3 kcal/mol	5H Bağı (GLU157, LEU156 ve LEU155)	GLU157, LEU156 ve LEU155	 ,
P	- 6,0 kcal/mol	1 H Bağı (ARG342) Pi-anyon ve pi-alkil etkileşimleri	ARG208, ALA207, GLU341, ARG342, GLU338	

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

P7	-7,2 kcal/mol	2 H Bağı (ARG180 ve ARG348) Pi-katyon, pi-alkil ve pi-anyon etkileşimleri	ARG180, ARG283, ASP265, ARG348, PRO345	
P8	-8,0 kcal/mol	1 H Bağı (ARG180) Pi-katyon, pi-alkil ve pi-anyon etkileşimleri	ASP265, ARG348, PRO345, LEU344, ARG185, ARG180, VAL166	
P9	-7.9 kcal/mol	2 H Bağı (ARG342 ve GLN 203) Pi-anyon ve pi-alkil etkileşimleri	ARG342, GLU338, GLN203, ALA334, ALA207, GLU341	

Çizelge 6. S. aureus (1MWT) Patojeni için Moleküler Kenetlenme Sonuçları

Yapı	Bağlanma Enerjisi	Etkileşimler	Etkileşimde olduğu Aminoasitler	Aktif Bölgedeki Görüntü
Fosfomisin	-4.0 kcal/mol	4 H Bağı (SER403, ASN464 ve SER462)	SER403, ASN464, LYS406 ve SER462	
P	5,7 kcal/mol	Pi-sülfür etkileşimi	GLU602 ve MET641	
P7	-6,5 kcal/mol	2 H Bağı (GLU602) Pi-donör etkileşimleri	ASN464, GLU602	

P8	-6,9 kcal/mol	Pi-anyon, pi-sigma ve pi-alkil etkileşimleri	GLN521, LEU525, ASP516, LEU513, LEU603, ALA601	
P9	-8,1 kcal/mol	1 H Bağı (GLU602) Pi-anyon, pi-donör ve pi-sülfür etkileşimleri	ASN464, GLU602, TYR519, MET641	

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, piyasada aktif ilaç olarak kullanılan Fosfomisin etken maddesi referans alınarak, DTP türevlerinde P, P7, P8 ve P9 türevlerinin kuantum kimyasal yöntemler ve moleküler kenetlenme yöntemleri ile anti mikrobiyal özellik gösterip göstermediğine dair teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Genel olarak bağlanma enerjilerine bakıldığında, piyasada aktif ilaç etken maddesi olarak kullanılan Fosfomisinin diğer DTP türevlerine göre daha düşük bağlanma enerjisine sahip olması ilaç etkinliğinin türevlerden daha az olduğunu düşündürmektedir.

Her bir patojene karşı moleküler kenetlenme sonuçları tek tek incelendiğinde, tüm patojenlerde Fosfomisine kıyasla türevlerin bağlanma enerjileri -5,7 kcal/mol ile 8,8 kcal/mol arasında değişmektedir. Ayrıca, iyi olan bağlanma enerjilerinin yanında, aktif bölgeye yerleşme pozisyonlarının ve aktif bölgedeki aminoasitler ile olan etkileşimlerinin de fosfomisine göre daha fazla ve etkili olduğu görülmüştür. DTP türevleri oluşturulurken furan halkalarının tercih edilmesinin ilaç olma potansiyeli üzerinde olumlu etki yarattığı bağlanma enerjileri ve kuantum verilerinden yararlanılarak söylenebilir.

Sonuç olarak, P, P7, P8 ve P9 türevlerinin kuantum kimyasal değerlendirilmesi ve doking hesaplamaları sonucunda, yapıların antimikrobiyal özellik gösterdiği ve ilaç olma potansiyellerinin yüksek olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

[1] Ogawa, K. ve Rasmussen, S.C., N-Functionalized Poly (Dithieno [3,2-b:2’,3’-d] Pyrrole)s: Highly Fluorescent Materials with Reduced Band Gaps, *Macromolecules*, 39(5), 1771–1778, 2006.

[2] Koeckelberghs, G., De Cremer, L., Persoons, A. ve Verbiest, T., Influence of the Substituent and Polymerization Methodology on the Properties of Chiral Poly (Dithieno [3,2-b:2’,3’-d] Pyrrole)s, *Macromolecules*, 40(12), 4173–4181, 2007.

[3] Carbas, B.B. ve Yıldız, H.B., A Review of Dithieno [3,2-b:2′,3′-d] Pyrrole-Based Electrochromic Conjugated Polymers, *European Polymer Journal*, 204, 112700, 2024.

[4] Dyer, A.L. ve Reynolds, J.R., Electrochromism of Conjugated Conducting Polymers, *Handbook of Conducting Polymers*, 1, 1–63, 2007.

[5] Camurlu, P., Polypyrrole Derivatives for Electrochromic Applications, *RSC Advances*, 4(99), 55832–55845, 2014.

[6] De Paoli, M.A., Casalbore-Miceli, G., Girotto, E.M. ve Gazotti, W.A., All Polymeric Solid State Electrochromic Devices, *Electrochimica Acta*, 44(18), 2983–2991, 1999.

[7] Brédas, J.L., Relationship Between Band Gap and Bond Length Alternation in Organic Conjugated Polymers, *The Journal of Chemical Physics*, 82(8), 3808–3811, 1985.

[8] Brédas, J.L., Themans, B., André, J.M., Heeger, A.J. ve Wudl, F., Geometric and Electronic Structures of Isothianaphthene and Thieno [3,4-c] Thiophene: A Theoretical Investigation, *Synthetic Metals*, 11(6), 343–352, 1985.

[9] Dkhissi, A., Louwet, F., Groenendaal, L., Beljonne, D., Lazzaroni, R. ve Brédas, J.L., Theoretical Investigation of the Nature of the Ground State in the Low-Bandgap Conjugated Polymer, Poly (3,4-Ethylenedioxythiophene), *Chemical Physics Letters*, 359(5-6), 466–472, 2002.

[10] Lee, K. ve Sotzing, G.A., Poly (Thieno [3,4-b] Thiophene): A New Stable Low Band Gap Conducting Polymer, *Macromolecules*, 34(17), 5746–5747, 2001.

[11] Farhadi, F., Khameneh, B., Iranshahi, M. ve Iranshahy, M., Antibacterial Activity of Flavonoids and Their Structure–Activity Relationship: An Update Review, *Phytotherapy Research*, 33(1), 13–40, 2019.

[12] Prieto-Martínez, F.D., Arciniega, M. ve Medina-Franco, J.L., Molecular Docking: Current Advances and Challenges, *TIP. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 21, 2018.

[13] Pinzi, L. ve Rastelli, G., Molecular Docking: Shifting Paradigms in Drug Discovery, *International Journal of Molecular Sciences*, 20(18), 4331, 2019.

[14] Frisch, M.J.E.A., *Gaussian 09, Revision D.01*, Gaussian Inc., Wallingford, CT, 2009.

[15] Dennington, R., Keith, T. ve Millam, J., *GaussView, Version 5*, 2009.

[16] Turhan, Z.Ş. ve Tenlik, F., Theoretical Investigation of Some 1,2,4-Triazole-Based Molecules Synthetized, *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 236(10), 1357–1376, 2022.

[17] Trott, O. ve Olson, A.J., AutoDock Vina: Improving the Speed and Accuracy of Docking with a New Scoring Function, Efficient Optimization, and Multithreading, *Journal of Computational Chemistry*, 31(2), 455–461, 2010.

[18] Morris, G.M., Huey, R., Lindstrom, W., Sanner, M.F., Belew, R.K., Goodsell, D.S. ve Olson, A.J., AutoDock4 and AutoDockTools4: Automated Docking with Selective Receptor Flexibility, *Journal of Computational Chemistry*, 30(16), 2785–2791, 2009.

[19] Berman, H.M., Westbrook, J., Feng, Z., Gilliland, G., Bhat, T.N., Weissig, H., ve Bourne, P.E., The Protein Data Bank, *Nucleic Acids Research*, 28(1), 235–242, 2000.

[20] Stanger, F.V., Dehio, C. ve Schirmer, T., Structure of the N-Terminal Gyrase B Fragment in Complex with ADP·Pi Reveals Rigid-Body Motion Induced by ATP Hydrolysis, *PLOS ONE*, 9(9), e107289, 2014.

[21] Keşkek Karabulut, Y., Yiğit, A., Karacalı Tunç, A., Sarıtaş, B.M., Kesici, S., Uzun, Y. ve Sadullahoğlu, C., MAO-A Inhibitor Properties by Molecular Modeling Method, Antimicrobial Activity and Characterization of Silver Nanoparticles Synthesized from *Lactifluus Bertillonii* Mushroom, *Duzce University Journal of Science & Technology*, 12(4), 2024.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Comparative Analysis of Total Phenolic Content, Phenolic Profile, Antioxidant Activity, and Protein Concentration of Urtica dioica L. Seed Extracts

Assist. Prof. Muammer TEPE

MCBU, Akhisar Vocational School

muammer.tepe@cbu.edu.tr. (ORCID: 0000-0002-1071-0060)

ABSTRACT

This study provides a comprehensive comparative evaluation of the phytochemical and bioactive characteristics of ethanol and water extracts of Urtica dioica L. seed. The markedly higher antioxidant activity observed in the ethanol extract, corroborated by elevated ABTS, DPPH, and FRAP values, reflects the superior solubility of medium-polar phenolics and flavonoids in ethanol. In contrast, water extracts demonstrated enhanced protein recovery and selective accumulation of highly hydrophilic phenolic acids such as sinapic acid. These solvent-dependent differences demonstrate the vital role of the extraction strategy in shaping both the qualitative and quantitative phytochemical profile of U. dioica. The findings highlight the plant's substantial potential as a functional bioactive resource and provide a robust analytical foundation for phytopharmacological applications.

Keywords: Urtica dioica, antioxidant activity, phenolic content, phenolic profile, protein concentration.

1. INTRODUCTION

Urtica dioica L. (stinging nettle) is a perennial medicinal herb widely distributed in Europe and Asia. It is traditionally used for its anti-inflammatory, diuretic, antihypertensive, and antioxidant effects (Figure 1). These biological activities are primarily attributed to its rich phenolic composition, including flavonoids, phenolic acids, and lignans. Solvent polarity plays a major role in determining the extraction efficiency of phenolic compounds, antioxidant molecules, and proteins. Ethanol, with intermediate polarity, efficiently extracts phenolics with high antioxidant capacity, whereas water favors extraction of hydrophilic macromolecules such as proteins. This study aims to provide a comprehensive comparison of ethanol and water extracts of U. dioica seed in terms of phenolic abundance, antioxidant responses, and protein content.

Several studies have demonstrated that Urtica dioica exhibits strong antioxidants, anti-inflammatory, and cytoprotective effects due to its rich phenolic composition [1,4]. Ethanol-based extractions of medicinal plants generally yield higher phenolic recovery, consistent with the behavior observed in other species such as Rosmarinus officinalis and Taraxacum officinale [5-6]. Additionally, solvent polarity is known to influence flavonoid solubility and antioxidant mechanisms, further supporting the stronger activity measured in ethanol extracts [7,9].

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Plant Material and Extraction

The dried Urtica dioica L. seeds were obtained from a local market in Manisa, Türkiye (Figure 2). A precise 2.00 g subsample was weighed and placed in a sterile extraction vessel. Subsequently, 40 mL of absolute ethanol (100%) was added as the extraction solvent. The plant–solvent mixture was homogenized using an Ultra-Turrax homogenizer (IKA T25, Staufen, Germany) at 5000 × g for 3 minutes to ensure efficient cell wall disruption and enhanced solvent penetration.

After homogenization, the suspension was left at room temperature for 30 minutes to let phenolic compounds and other ethanol-soluble parts move into the solvent as much as possible. The resulting extract was then filtered through Whatman No. 1 filter paper to remove insoluble plant residues.

The clear filtrate was transferred into amber glass bottles to prevent light-induced degradation of bioactive compounds and stored at +4°C until further chemical analyses, including antioxidant activity, total phenolic content, individual phenolic profiling (LC-MS/MS), and total protein determination.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Figure 1: Fresh U. Dioica

Figure 2: U. Dioica Seeds

2.2. Total Phenolic Content (TPC)

The total phenolic content (TPC) of Urtica dioica L. seed extracts was determined using the Folin–Ciocalteu colorimetric method described by Singleton et al. (1999), with slight modifications suitable for ethanol and water extraction matrices [10].

A gallic acid calibration curve was constructed using standard solutions ranging from 0.1 to 0.5 mg/mL. For each concentration, 1 mL of the gallic acid solution was mixed with 2.5 mL of Folin–Ciocalteu reagent and 7.5 mL of sodium carbonate solution (20%, w/v). The mixtures were left at room temperature for two hours to let the color fully develop.

For sample analyses, 0.5 mL of each U. dioica extract was treated with the same Folin–Ciocalteu and sodium carbonate reagents. After incubation under the same conditions, a UV–vis spectrophotometer (Jasco V-730ST UV/vis Spectrophotometer) was used to measure absorbance values at 760 nm.

Total phenolic content was quantified based on the gallic acid calibration curve and expressed as mg GAE/g dry weight. All analyses were performed in triplicate, and results were reported as mean ± standard deviation.

2.3. Antioxidant Activity Assays

With a few adjustments, seed extracts were prepared using the following procedure for the ABTS assay [11]. 7.4 mM ABTS and 2.6 mM potassium persulfate were combined to create a stock solution. Before the analysis, 1 mL of the prepared stock solution was taken and diluted with 60 mL of methanol after it had been left at room temperature for 12 hours. For two hours in the dark, 150 µL of seed extracts and 2850 µL of the ABTS solution were left to react. The spectrophotometer (Jasco V-730ST UV/vis Spectrophotometer) was then used to measure absorbance at 734 nm. Between 25 and 600 mM Trolox, the standard curve was linear. Trolox

equivalents (TE)/g dry weight (mM) were used to express the results. The ABTS, DPPH, and FRAP tests were used to measure antioxidant capability. At 734 nm, 517 nm, and 593 nm, respectively, absorbances were measured. The result is expressed as µM TE/g DW, with Trolox used as the calibration reference.

With a few minor adjustments, the DPPH analysis was carried out using the following protocol [12]. After dissolving 24 mg of DPPH in 100 mL of methanol, 10 mL of the stock solution was collected and diluted with 45 mL of methanol. The seed extracts (150 µL) and the DPPH solution (2850 µL) were allowed to react in the dark for two hours. The spectrophotometer (Jasco V-730ST UV/vis Spectrophotometer) was then used to measure absorbance at 515 nm. In the range of 25 to 800 mM Trolox, the standard curve was linear. Trolox equivalents (TE)/g dry weight (mM) are used to express the results. In every measurement, if the analytical value exceeded the standard curve's linear range, more dilution was required.

With a few adjustments, the FRAP analysis was carried out in accordance with the following protocol [13]. Among the stock solutions were 3.1 g of $C_2H_3NaO_2 \cdot 3H_2O$, 16 mL of $C_2H_4O_2$, a 300 mM acetate buffer at pH 3.6, a 10 mM TPTZ (2, 4, 6-tripyridyl-s-triazine) solution in 40 mM HCl, and a 20 mM $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ solution. The following is how the new functioning solution mix was made: Before usage, 25 mL of acetate buffer, 2.5 mL of TPTZ solution, and 2.5 mL of $FeCl_3.6H_2O$ solution were heated to 37°C. In a dark environment, 150 µL of seed extracts and 2850 µL of the FRAP solution were left to react for 30 minutes. The spectrophotometer (Jasco V-730ST UV/vis Spectrophotometer) was then used to measure absorbance at 593 nm. Between 25 and 600 mM Trolox, the standard curve was linear. The results were expressed in millimolar Trolox equivalents (TE) per gram of dry weight (DW).

2.4. Determination of phenolic compounds by LC-MS/MS

A high-performance liquid chromatography-mass spectrometer (Agilent 1260 Triple Quadrupole MS/MS) was utilized to determine the phenolic profiles of seed extracts. Three replications were used for each analysis. The studies were conducted using an HPLC column C18 ODS, which measures 25 x 4.6 mm by 5 µm. Analysis injection volume: 2 µL. Methyl alcohol (99.9%) (B) and water/0.1% formic acid (A) served as the carrier phases. The gradient approach looks like this: for 3 minutes, 2% B; 6 minutes, 25% B; 10 minutes, 50% B; 14 minutes, 95% B; and 17.5 minutes, 2% B. 0.4 mL/min is the flow rate. Both positive and negative approaches of chemical identification were used [14].

2.5. Protein Quantification

The protein content of Urtica dioica L. seed extracts was quantified using the Bradford assay, a colorimetric method based on the binding of Coomassie Brilliant Blue G-250 dye to proteins, with bovine serum albumin (BSA) serving as the standard reference protein [15]. The procedure was performed following the classical Bradford protocol with minor modifications to ensure optimal sensitivity for plant extracts.

A BSA calibration curve was prepared using a series of standard solutions ranging from 0 to 1.0 mg/mL, covering the linear response region of the dye–protein complex. Aliquots of 100 µL from each BSA standard were transferred into glass or polypropylene tubes, and 5 mL of Bradford reagent was added. The mixture was vortexed gently, and it was incubated at room temperature for 10 minutes to allow for maximum color development.

For sample preparation, U. dioica seed extracts obtained with ethanol and water were diluted appropriately to fall within the calibration curve range. A volume of 100 µL of each extract was pipetted into separate tubes and treated with 5 mL of Bradford reagent under the same incubation conditions as the standards.

The absorbance of all standards and samples was measured at 595 nm against a reagent blank using a UV–vis spectrophotometer (Jasco V-730ST UV/vis Spectrophotometer).

Protein concentrations of the plant extracts were calculated from the BSA calibration equation and expressed as µg protein per g dry weight (µg/g DW). All measurements were conducted in triplicate, and results were reported as mean ± standard deviation (SD) to reflect analytical precision.

3. RESULTS

3.1. Total Phenolic Content (TPC)

The ethanol extract exhibited the highest TPC (4.2753 ± 0.0963 mg GAE/g DW), whereas the water extract showed considerably lower values (1.0135 ± 0.0014 mg GAE/g DW).

3.2. Antioxidant Activities (ABTS, DPPH, FRAP)

Assay	Ethanol (mean ± SD)	Water (mean ± SD)
ABTS (µM TE/g DW)	1554.5 ± 375.8	1270.9 ± 0.5
DPPH (µM TE/g DW)	664.3 ± 0.4	571.7 ± 8.7
FRAP (µM TE/g DW)	1019.3 ± 6.8	588.7 ± 0.5

3.3. Phenolic Profile

Table 3 presents the phenolic composition of ethanol and water extracts of Urtica dioica, expressed as mg/g DW (mean ± SD), rounded to three decimals.

Compound	Ethanol (mg/g ± SD)	Water (mg/g ± SD)	Chemical Formula
(-)-Epicatechin	0.306 ± 0.012	-	C15H14O6
(+)-Catechin	1.503 ± 0.015	-	C15H14O6
3,4-Dihydroxyphenylacetic acid	0.000 ± 0.000	0.095 ± 0.000	C8H8O4
3-Hydroxybenzoic acid	1.435 ± 0.037	0.442 ± 0.014	C7H6O3
4-Hydroxybenzoic acid	1.505 ± 0.017	0.407 ± 0.037	C7H6O3
Ferulic acid	0.154 ± 0.032	0.060 ± 0.023	C10H10O4
Gallic acid	0.025 ± 0.002	0.259 ± 0.009	C7H6O5
Hesperidin	0.059 ± 0.059	0.011 ± 0.002	C28H34O15

Hyperoside	0.003 ± 0.003	0.055 ± 0.051	C21H20O12
p-Coumaric acid	0.432 ± 0.014	0.875 ± 0.043	C9H8O3
Protocatechuic acid	0.210 ± 0.003	0.867 ± 0.013	C7H6O4
Sinapic acid	0.186 ± 0.072	19.939 ± 0.152	C11H12O5
Syringic acid	-	0.115 ± 0.000	C9H10O5

3.4. Protein Content

Name	Ethanol (mean ± SD)	Water (mean ± SD)
Protein (µg/g DW)	40.32 ± 0.38	46.14 ± 0.06

4. DISCUSSION

Ethanol extraction resulted in significantly higher recovery of phenolic compounds and antioxidant activity compared to water extraction. This aligns with the known solubility of flavonoids and phenolic acids in moderately polar organic solvents. Water extracted greater amounts of proteins due to the hydrophilic nature of these biomolecules.

The markedly higher activity in ethanol extracts aligns with previous studies showing that medium polarity solvents facilitate the extraction of flavonoids and phenolic acids responsible for radical scavenging [1-3,4-8]. Conversely, the higher protein content in water extracts is consistent with reports indicating that hydrophilic macromolecules, including enzymes and structural proteins, are more efficiently extracted by aqueous solvents [7,9]. Moreover, the unusually high sinapic acid concentration in the water extract parallels similar findings in hydrophilic extracts of Brassicaceae members [5], highlighting a solvent-driven shift in phenolic composition.

5. CONCLUSION

The comparative assessment of ethanol and water extracts of Urtica dioica L. revealed pronounced solvent-driven differences in total phenolic content, phenolic composition, antioxidant capacity, and protein concentration. Ethanol extraction yielded a phytochemically richer matrix characterized by elevated phenolic acid and flavonoid levels, which translated into substantially higher antioxidant performance across multiple assay systems. Conversely, water extraction favored the recovery of hydrophilic phenolics and proteins, illustrating the selective partitioning of bioactive constituents according to solvent polarity. Collectively, these results demonstrate that optimized solvent selection is indispensable for maximizing analytical accuracy and bioactivity profiling in phytochemical research. The outcomes provide a scientifically rigorous basis for future nutraceutical, therapeutic, and functional food applications involving U. dioica.

References

[1] Gülçin, İ., Küfrevioğlu, Ö. İ., Oktay, M., & Büyükokuroğlu, M. E. (2004). Antioxidant, antimicrobial, antiulcer and analgesic activities of nettle (Urtica dioica L.). Journal of Ethnopharmacology, 90(2–3), 205–215. https://doi.org/10.1016/j.jep.2003.09.028

[2] Chrubasik, J. E., Roufogalis, B. D., Wagner, H., & Chrubasik, S. (2007). A comprehensive review on the stinging nettle effect and efficacy profiles. Phytomedicine, 14(7–8), 568–579. https://doi.org/10.1016/j.phymed.2007.03.014

[3] Jaiswal, V., & Lee, H.-J. (2022). Antioxidant activity of Urtica dioica: An important property contributing to multiple biological activities. Antioxidants, 11(12), 2494.https://doi.org/10.3390/antiox11122494

[4] Flórez, M., Cazón, P., & Vázquez, M. (2022). Antioxidant extracts of nettle (Urtica dioica) seed: Evaluation of extraction techniques and solvents. Molecules, 27(18), 6015.https://doi.org/10.3390/molecules27186015

[5] Cavin, C., Delannoy, M., Malnoe, A., Debefve, E., Touche, A., Curran, M. A., & Schilter, B. (2005). Inhibition of the expression of cytochrome P450 1A1 gene by coffee diterpenes and metabolites in rat hepatocytes. Food and Chemical Toxicology, 43(5), 681–689. https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2004.12.061

[6] Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. Food Chemistry, 105(3), 940–949. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038

[7] Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(10), 4290–4302. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf0502698

[8] Kőszegi, K., Végvári, G., Stefanovits-Bányai, É., Békássy-Molnár, E., & Maráz, A. (2023). Influence of the harvesting seasons on the polyphenol composition and antimicrobial activity of stinging nettle (Urtica dioica L.) extracts. Acta Alimentaria, 52(4), 589–600. https://doi.org/10.1556/066.2023.00156

[9] Omer, G. A., & Mohammed, L. Y. (2024). Total phenolic, flavonoids and vitamin C contents with antioxidant activity of Urtica dioica L. seed growing in Zakho, Kurdistan Region–Iraq. Baghdad Science Journal, 21(5), Article 18. https://doi.org/10.21123/bsj.2023.8658

[10] Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R. M. (1999). *Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu*

reagent. Methods in Enzymology, 299, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1

[11] Arnao MB, Cano A, Acosta M. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. Food Chemistry 2001;73:239–44. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00324-1.

[12] Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology 1995;28:25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5.

[13] Benzie IFF, Strain JJ. The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. Analytical Biochemistry 1996;239:70–6. https://doi.org/10.1006/ABIO.1996.0292.

[14] Gören AC, Çikrikçi S, Çergel M, Bilsel G. Rapid quantitation of curcumin in turmeric via NMR and LC-tandem mass spectrometry. Food Chemistry 2009; 113:1239–42. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.014.

[15] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein–dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1–2), 248–254.
https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SUDAN HAVAYA ISI POMPALARINDA KULLANILAN R410A SOĞUTUCU AKIŞKANINA ALTERNATİF OLUŞTURABİLECEK SOĞUTUCU AKIŞKANLARIN PERFORMANS VE MALİYETLERİNİN TEORİK OLARAK DEĞERLENDİRMESİ

Ar-Ge Mühendisi, Emre Aydın

Form Şirketler Grubu R&D Center, İzmir

emre.aydin@formgroup.com - ORCID ID: 0009-0004-1942-0707

ÖZET

Küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar sonucunda, iç ortamlar için tasarlanmış monoblok sudan havaya ısı pompalarında kullanılan R410A soğutucu akışkanına alternatiflerin belirlenmesi sektör açısından zorunlu hale gelmiştir. Uzun yıllardır kullanılan R410A, A1 yanıcılık sınıfına sahip olması ve yüksek verimlilik sunması nedeniyle avantajlı olsa da yüksek GWP değerinden (IPCC AR4 ≈ 2088) dolayı 2027 yılı sonrası servis hizmetleri dışında tamamen kullanım dışı bırakılacaktır. Hidrokarbon esaslı akışkanlar geleceğin güçlü adayları olarak görülse de yanıcılık ve patlayıcılık özellikleri iç mekân uygulamalarında kullanım kısıtlarına yol açmaktadır. Bu nedenle sudan havaya ısı pompaları gibi kapalı alan cihazlarında düşük GWP ve ODP değerlerine sahip hidroflorlu akışkanlar güncel olarak en uygun alternatiflerdir. Bu çalışmada GWP değeri 750'nin altında olan R32 (≈675), R513A (≈631), R454B (≈466) ve R454C (≈146) akışkanlarının yanıcılık sınıfları, çevresel etkileri ve yönetmelik kaynaklı kısıtlamaları çizelgeler halinde sunulmuş; aynı kapasitedeki bir ürün üzerinden verimlilik ve ekipman seçimi karşılaştırılmış, olası maliyet farkları değerlendirilmiştir. Bulgular, R454B kullanılan ürünün daha kompakt olacağını, enerji başına soğutma kapasitesinde R454C'nin daha avantajlı olduğunu, en düşük çalışma basıncının R513A'ya ait bulunduğunu ve gelecekteki regülasyonlar açısından kapalı alanlarda en az kısıtlamaya maruz kalacak akışkanın R454C olduğunu göstermektedir. Tüm değerlendirmeler 1'in en avantajlı olduğu 1–5 puanlama sistemiyle yapılmış, karşılaştırma için her akışkanla 15 kW kapasiteli bir ısı pompası seçilmiştir. Sonuç olarak, gelecekteki düzenlemeler doğrultusunda R410A'ya alternatif olarak kullanılabilecek en güçlü aday belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Isı pompası, Soğutucu akışkan, Soğutma kapasitesi, Enerji verimliliği, KIP

1. GİRİŞ

Isı pompası cihazları Carnot Çevrimi esaslarına göre çalışan, ısıtma ve soğutma yapabilen cihazlardır. Bu çevrim; kapalı bir devre içinde soğutucu akışkanın basınçlandırılıp genleştirilerek ısı kaynaktan şartlandırılmak istenen unsura ısı transferi yapılması esasına dayalı çalışmaktadır. Hava, su ve toprak kaynaklı üretilebilmekle birlikte hava ve su şartlandırmak için farklı varyasyonlarda üretimleri ve kullanımları bulunmaktadır. Ana bileşen olarak kompresör, kondenser, evaporatör, genleşme vanası ve dört yollu vana bulunmaktadır. Isıtma modunda soğutucu akışkan kapalı bir çevrimde basınçlandırılıp genleştirilerek, kaynaktan şartlandırılmak istenen unsura ısı transferi gerçekleştirilerek unsurun ısıl enerjisinin

arttırılmasını sağlar. Soğutma modunda ise unsurdan aynı işlemin tersinir uygulanmasıyla aldığı ısıl enerjiyi kaynağa transfer ederek unsurun ısıl enerjisini düşürür.

Isı pompası çalışma performansları cihazda kullanılan ana komponentlerin, sensör ve diğer yardımcı ekipmanların ve cihaz otomasyonunun optimizasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Ancak bütün ekipmanların soğutucu akışkana uyumlu olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda gerek fiziksel ve kimyasal karakteristiği, gerek bütün sistem bileşenlerinin seçimini etkilemesi gerekse sistem içerisinde ısı taşımının sağlanmasından dolayı soğutucu akışkan sistemin en önemli ve belirleyici bileşenidir. Günümüze kadar sistem verimliliği ve ortam çalışma şartları gereği oluşan ihtiyaçlar gereği pek çok soğutucu akışkan üretilmiş ve kullanılmıştır.

Soğutucu akışkanlar; üretimleri, depolanması, taşınımı, sisteme şarjı ve kullanım sırasında oluşan kaçaklar sonucu atmosfere karışabilmektedir. Geçmişten günümüze gelişen bilinç ve giderek artan küresel ısınma tehdidi sebebiyle pek çok soğutucu akışkan bir dönemlerin en verimli ve güvenilir ürünleri olmasına rağmen artık kullanımdan kaldırılmıştır. Bunun yanında, iklimlendirme cihazlarının hayatımızın her alanında kullanılmaya başlanmasıyla soğutucu akışkanların güvenli kullanımı da söz konusu hale gelmiştir. Pek çok yönden giderek artan iyileştirici kısıtlamalar, ısı pompası soğutucu akışkan seçimlerinde geçmişten beri kullanılan soğutucu akışkanların yerine kullanılacak alternatiflerin seçiminde çok daha titiz davranılması gerekliliğini ortaya koymuştur. 2027 yılından itibaren KIP değeri 150'nin üzerinde olan soğutucu akışkanların kullanıldığı monoblok ısı pompaları ve klimaların satışının yasaklanacağı, A2L güvenlik sınıfı için 1200 gram, A3 sınıfı için ise 500 gramlık devre başına gaz şarjı limitlerinin uygulanacağı göz önünde bulundurulduğunda yapılacak soğutucu akışkan seçimi çalışmaları için ciddi efor sarf edilmesi gerekliliği görülmektedir.

Bu çalışmada yakın zamana kadar Carnot Çevrimi prensibine dayalı ürün gruplarının pek çoğunda kullanılan R410A soğutucu akışkanına, bir sudan havaya ısı pompası örneği baz alınarak alternatif olabilecek yeni nesil soğutucu akışkanlar; güvenlik sınıfı, KIP, ozon inceltme potansiyeli(ODP), yanıcılık sınıfı, akışkan tedarik maliyeti ve soğutucu akışkana uygun sistem kurulum maliyetleri yönünden incelenerek en iyi alternatifin seçimi teorik olarak ortaya koyulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan ön çalışmada akışkan karakteristikleri ile ilgili kaynama, kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri derlenerek R410A akışkanına en yakın özellikli soğutucu akışkanların R32 ve R454B olduğu görülmüştür.

Çizelge 1. Soğutucu Akışkan Kritik Noktaları

Soğutucu Akışkan	Kaynama Noktası (1atm,^{o}C)	Kritik Sıcaklık(^{o}C)	Kritik Basınç(bar)
R410A	-51,7	78,4	58,2
R32	-51,6	72,1	49,3
R454B	-50,5	78,1	52,7
R454C	-45,6	85,7	43,2
R513A	-29,2	96,5	37,7

Çizelge 1 göz önüne alındığında R32 ve R454B akışkanlarının benzer değerlere sahip olması beklenmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Yapılan çalışmada soğutucu akışkanların karakteristik özellikleri ve teorik performans ölçekleri derlenerek bir karşılaştırma çizelgesi oluşturulmuştur. Bu çizelgelerde karşılaştırma kolaylığı ve sonuç değerlendirmeleri için soğutucu akışkanlar 1 en avantajlı olarak baz alınıp 1-5 arası puanlanmıştır. Son değerlendirme için puanlamaların ortalaması alınarak en avantajlı olabilecek soğutucu akışkanın belirlenmesi amaçlanmıştır. Çizelgelerde R410A soğutucu akışkanı da karşılaştırmalar için pivot olarak yer almış elde edilen sonuçlar R410A için elde edilen sonuçlara göre karşılaştırılmıştır.

İlk değerlendirme soğutucu akışkanların karakteristik özellikleri üzerinden yapılmıştır. KIP, güvenlik sınıfı değerlendirmeleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 2. KIP Değerlerinin Karşılaştırması (IPCC AR4)

Soğutucu Akışkan	Akışkan Grubu	KIP	Puanlama
R410A	HFC	2088	5
R32	HFC	675	4
R454B	HFO/HFC	466	2
R454C	HFO/HFC	146	1
R513A	HFO/HFC	631	3

* Yürürlükte olan düzenlemeler için IPCC AR4 raporu uygulandığı için KIP değerleri bu rapora göre alınmıştır.

İkinci değerlendirme yine soğutucu akışkanların karakteristik özelliklerinden olan güvenlik sınıfları üzerinden yapılmıştır. Karşılaştırılan akışkanlar A1* ve A2L* sınıfı

Çizelge 3. Güvenlik Sınıflarının Karştırması

Soğutucu Akışkan	LFL(%)	UFL(%)	Puanlama
R410A	Non	Non	1
R32	13,60	28,40	2
R454B	11,25	22,00	3
R454C	7,7	15,7	4
R513A	Non	Non	1

* Güvenlik sınıflarındaki A1, A2L ve A3 sınıflandırmaları için; A Düşük toksisite, 1-2-3 değerleri yanıcı olmayandan yüksek yanma potansiyeline göre sırasıyla sınıflandırmayı, L harfi ise düşük alev hızını ifade eder.

Her soğutucu akışkanın karakteristik özelliklerinden dolayı kullanılan ekipmanların her bir akışkanın optimum çalışmasına uygun seçimi karşılaştırma kriterlerinin belirlenmesinde sorun

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

teşkil edecektir. Bu sebeple aşağıda belirtilen değerler, tasarımı hesaplanan 15kW ısı pompası için sabit alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bütün akışkanlar için kullanılan batarya geometrisi; boru ve sıra arası mesafe sırasıyla 25x22, 3/8" düz borulu ve dalgalı alüminyum lamelli olarak seçilmiş; sıra, devre sayısı, hatve aralığı gibi notasyon unsurları seçimlere göre değiştirilmiştir. Bataryaların değerlendirmesi ısı transfer yüzeyi üzerinden yapılacaktır.

Her akışkan için aynı marka kompresör üreticisinin akışkanlara uygun ürün gruplarından seçimler yapılmış, batarya hesaplamalarında aynı üreticinin belirtilen geometrisi üzerinden notasyonlar kompresör ile denkleştirmeler yapılarak seçilmiştir.

Hava giriş çıkış sıcaklık değerleri sudan havaya ısı pompalarında sabit olarak; soğutma modu için 27ºC KT / 19 ºC YT, ısıtma modu için 20 ºC KT / 15 ºC YT olarak alınmıştır.

Su giriş çıkış sıcaklık değerleri ise soğutma modu için 30 ºC IWT / 35 ºC OWT, ısıtma modu için 20 ºC IWT olarak alınmıştır.

Isı transferi için belirtilen hava hacimsel debisi ise 3000 m^3/h olarak belirlenmiştir.

Seçimlerde deklare edilen cihaz kapasiteleri denkleştrime işlemlerinden dolayı ±%5 fark edebilmektedir.

Çizelge 4. Çalışma İçin Belirlenen Sabit Parametreler

Soğutucu Akışkan	Hava Hacimsel Debisi [m^3/h]	Soğutma Modu Hava Giriş Kuru Termometre / Yaş Termometre Sıcaklığı [ºC]	Isıtma Modu Hava Giriş Kuru Termometre / Yaş Termometre Sıcaklığı [ºC]	Soğutma Modu Su Giriş / Çıkış Sıcaklığı [ºC]	Isıtma Modu Su Giriş Sıcaklığı [ºC]
R410A	3000	27 / 19	20 / 15	30 / 35	20
R32					
R454B					
R454C					
R513A					

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Karşılaştırmanın yapılabilmesi açısından öncelikle R410A soğutucu akışkanın seçimleri yapılmıştır.

Çizelge 5. R410A Seçim Değerleri

Soğutucu Akışkan	Soğutma Kapasitesi [kW]	Soğutma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isıtma Kapasitesi [kW]	Isıtma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isı Transferi Yüzey Alanı [m^2]	Soğutma Modu Kompresör Verimliliği [COP]	Isıtma Modu Kompresör Verimliliği [COP]
R410A	14,85	45,51	18,06	37,83	27,8	4,55	5,22

Çizelge 5'te R410A soğutucu akışkanlı bir ısı pompası için yapılan seçimler görülmektedir. Bu seçimlerin değerleri baz alınarak diğer soğutucu akışkanların performansları ve maliyetleri puanlanacaktır.

Çizelge 6. R32 Seçim Değerleri

Soğutucu Akışkan	Soğutma Kapasitesi [kW]	Soğutma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isıtma Kapasitesi [kW]	Isıtma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isı Transferi Yüzey Alanı [m^2]	Soğutma Modu Kompresör Verimliliği [COP]	Isıtma Modu Kompresör Verimliliği [COP]
R32	15,55	57,1	19,09	48,01	32	4,32	5,08

Çizelge 6'da görüldüğü üzere denkleştirmelerden dolayı batarya ısı transfer yüzeyinin arttığı görülmektedir, batarya maliyeti bu artıştan dolayı belirli bir düzeyde artacaktır. Ayrıca R32 soğutucu akışkanı için yapılan seçimlerde kompresör verimliliğinin düştüğü gözlemlenmektedir. Birim ısı transfer yüzey alanı başına alınan soğutma ve ısıtma kapasitesine göre R410A akışkanına göre daha geride kaldığı görülmektedir.

Çizelge 7. R454B Seçim Değerleri

Soğutucu Akışkan	Soğutma Kapasitesi [kW]	Soğutma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isıtma Kapasitesi [kW]	Isıtma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isı Transferi Yüzey Alanı [m^2]	Soğutma Modu Kompresör Verimliliği [COP]	Isıtma Modu Kompresör Verimliliği [COP]
R454B	15,68	72,6	18,47	42,95	27,5	4,67	4,86

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 7'de görüldüğü üzere R454B soğutucu akışkanının soğutma performansı ve ısı transfer yüzey alanı R410A soğutucu akışkanlı sisteme göre daha iyi sonuç vermektedir. Ancak ısıtma performansı olarak hem R410A'nın hem de R32'nin gerisinde kalmaktadır. Kompakt yapının korunması için seçilen batarya boyutundan dolayı soğutma modunda hava tarafı basınç kaybı ciddi manada yükselmiştir. Birim ısı transfer yüzey alanı başına alınan soğutma ve ısıtma kapasitesine göre R410A ve R32'den daha performanslı olduğu görülebilmektedir. Ayrıca daha küçük batarya yapısı az da olsa maliyet olarak avantaj sağlayacaktır.

Çizelge 8. R454C Seçim Değerleri

Soğutucu Akışkan	Soğutma Kapasitesi [kW]	Soğutma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isıtma Kapasitesi [kW]	Isıtma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isı Transferi Yüzey Alanı [m^2]	Soğutma Modu Kompresör Verimliliği [COP]	Isıtma Modu Kompresör Verimliliği [COP]
R454C	15,18	45,77	17,78	37,76	27,8	4,83	5,29

R454C soğutucu akışkanı için yapılan seçimlerde, soğutma ve ısıtma modu için kompresör verimlerinin R410A akışkanına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Birim ısı transfer yüzey alanı başına alınan soğutma ve ısıtma kapasitesine göre R410A ve R32'den yüksek R454B'den ise daha düşük performanslı olduğu görülebilmektedir. Yapılan seçimde kullanılan batarya R410A için kullanılan bataryayla aynı notasyona sahip olup fiyat farkı oluşturmayacaktır.

Çizelge 9. R513A Seçim Değerleri

Soğutucu Akışkan	Soğutma Kapasitesi [kW]	Soğutma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isıtma Kapasitesi [kW]	Isıtma Modu Hava Tarafı Basınç Düşümü [Pa]	Isı Transferi Yüzey Alanı [m^2]	Soğutma Modu Kompresör Verimliliği [COP]	Isıtma Modu Kompresör Verimliliği [COP]
R513A	15,33	58,24	18,58	49,28	42	4,76	5,66

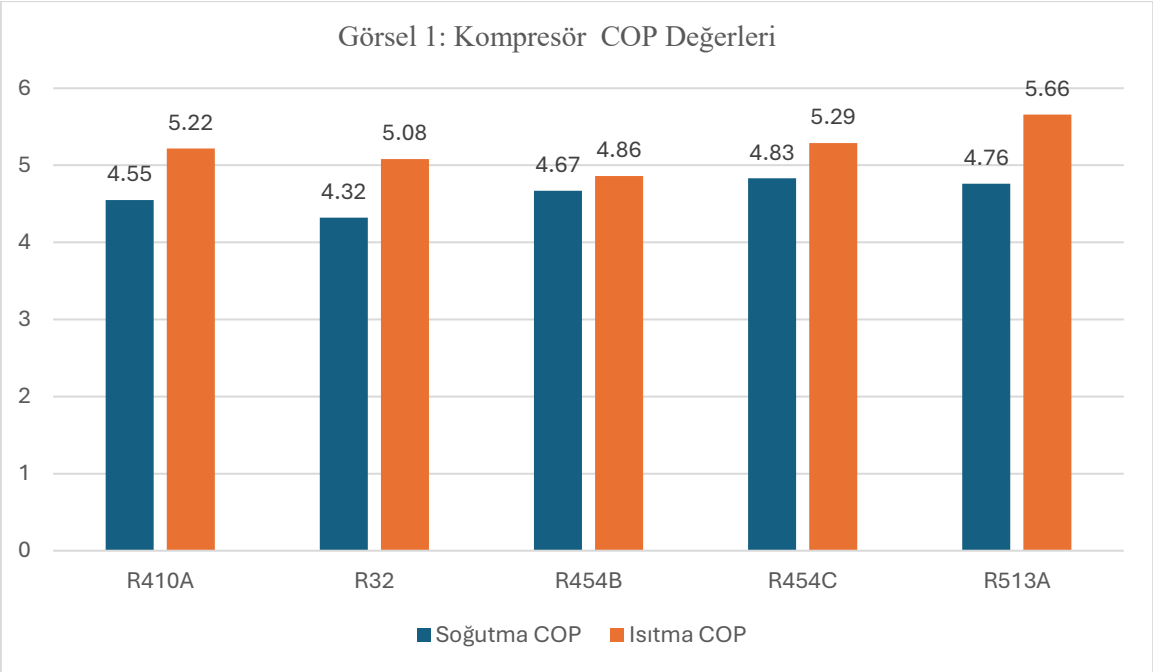
R513A soğutucu akışkanı için yapılan seçimlerde, soğutma ve ısıtma modu için kompresör verimlerinin en yüksek akışkan olduğu görülmektedir. Isı transfer yüzey alanı başına alınan soğutma ve ısıtma kapasitesi yönünden ise en düşük performans değerlerine sahip akışkandır. Kullanılan batarya, yapısı gereği en yüksek batarya maliyetini oluşturmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

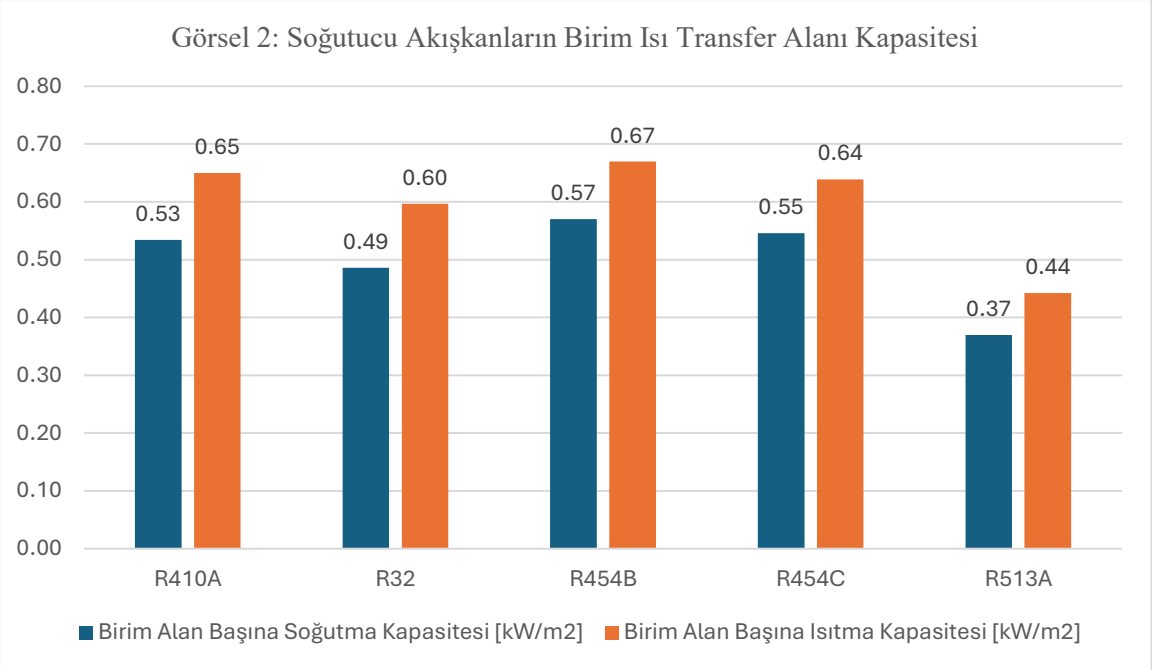
Elde edilen değerlerin, belirli marka kompresör ve sabit batarya geometrisi kullanılarak elde edildiği unutulmamalıdır. Farklı notasyonlar, farklı marka kompresörler, değişken hava debileri optimum seçimlerle beraber soğutucu akışkanların performans değerlerinde değişimler gözlemlenecektir.

Elde edilen veriler doğrultusunda soğutucu akışkanların kompresör verimliliği ve ısı transferi yüzey birim alanı başına kapasitesi aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Grafiklerde de görüldüğü üzere çekilen güç başına ısıtma kapasitesi en yüksek soğutucu akışkan R513A, soğutma kapasitesi en yüksek akışkan ise R454C olduğu görülmektedir. Bu noktada soğutucu akışkanların soğutma ve ısıtma verimliliklerinin aynı oranda değişmediği söylenebilir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



COP değerleri yüksek olmasına karşın ısı transfer yüzeyi birim alanına karşılık en düşük kapasite sağlayan soğutucu akışkan R513A olarak görülmektedir. R454B ve R454C akışkanlarının çok yakın değerlere sahip olmasına karşın bu alanda en verimli akışkan R454B'dir. Grafikler incelendiğinde yalnızca COP değerlerinin bir ölçüt olarak alınmasının doğru olmadığı görülmektedir. Ürünlerin ergonomik olma gerekliliği göz önünde bulundurulduğunda gerek batarya boyutları gerekse buna bağlı cihaz kabin boyutlarının büyümesi sebebiyle bu alanda R513A akışkanının bir avantaj sağlamayacağı sonucuna ulaşılabilir.

Bunun yanında maliyet kalemleri kullanılan bileşenlerin üretim, tüketim miktarlarına ve markalarına bağlı olarak değişecektir. Bu sebeple maliyetlerin paylaşılması uygun olmayacaktır. Ancak çalışma boyunca alınan maliyet bilgileri karşılaştırılarak doğrudan puanlama olarak aşağıdaki Çizelgelerde paylaşılmıştır.

Çizelge 9. Sistem Bileşen Maliyetlerinin Karşılaştırması

Soğutucu Akışkan	Kullanılan Soğutucu Akışkan Maliyeti	Ana Bileşen Toplam Maliyetleri
R410A	1	1
R32	2	3
R454B	3	2
R454C	5	4
R513A	4	5

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Alınan fiyatlar üzerinden yapılan incelemelerde özellikle R32 ve R454C bileşen fiyatlarının birbirine çok yakın olduğu, R513A akışkanı için kullanılan bileşenlerin maliyetlerinin ise oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Benzer bir şekilde R454C soğutucu akışkanın kg birim fiyatının diğer akışkanlara göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Bu yüksek farklar akışkanların yaygınlık durumu ve piyasadaki hacminden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 10. Verimlilik Değerlerinin Karşılaştırması

Soğutucu Akışkan	Soğutma Modu COP	Isıtma Modu COP	Birim Yüzey Alanı Başına Soğutma Kapasitesi	Birim Yüzey Alanı Başına Isıtma Kapasitesi
R410A	4	3	3	2
R32	5	4	4	4
R454B	3	5	1	1
R454C	1	2	2	3
R513A	2	1	5	5

Akışkanların genel değerlendirmesi bütün karşılaştırmalardan gelen puanlamaların ortalaması olarak alınacaktır. Çalışmada alternatif akışkanların performansının yanı sıra gelecek regülasyonlardan dolayı kullanım ömürlerini de hesaba katarak uzun vadeli yatırım değerlendirmesi mahiyetindedir. Bütün veriler incelenip Çizelge 11'deki karşılaştırma tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge 11. Akışkanların Puan Karşılaştırması

Soğutucu Akışkan	Akışkan Puanı
R410A	2,5
R32	3,5
R454B	2,5
R454C	2,75
R513A	3,25

Akışkanların puanlamalarına bakılıp R410A'nın pivot olarak listede yer aldığı göz önünde bulundurulduğunda R454B en avantajlı alternatif olarak görülmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME ve SONUÇLAR

Avrupa Komisyonu F-gaz mevzuatının getirdiği kısıtlamalar ve KIP değerlerinin 0'a yakın olması sebebiyle gelecekte soğutma sektöründe doğal soğutucu akışkanların kullanımı

gittikçe yaygınlaşacaktır. Ancak R290(propan) gibi A3 sınıfı yüksek yanıcı ve patlayıcı akışkanların üretimi için ciddi bir tesis yatırımı ve saha uygulama önlemleri gerekmektedir. CO_2 gibi yanıcı olmayan soğutucu akışkanlar ise gerek yüksek basınçta çalışması gerekse kaçak durumunda mahaldeki oksijen miktarını düşürerek boğulma riski oluşturması sebebiyle özellikle ülkemiz gibi yüksek KIP ve düşük güvenlik riski oluşturan akışkanlı soğutma gruplarının üretildiği ülkelerde geçiş süreci uzun yıllar alacaktır. Bu sebeple alternatif olarak düşük KIP değerine sahip F-gazlı soğutucu akışkanlar bu geçiş sürecinde alternatif oluşturacaktır.

2027 yılı itibariyle bu çalışmada ele alınan sudan havaya monoblok iç ortam ısı pompası cihazlarında 150 KIP değerlikli akışkanların geçişleri zorunlu hale gelecektir. 2030 yılından sonra ise doğal soğutucu akışkanlara geçiş yapılması yine Avrupa Komisyonunun hedefleri arasındadır. Bu çalışma önümüzdeki 5 yıl içerisinde belirtilen ürün grubunda kullanılacak en uygun akışkanın belirlenmesini amaçlamıştır. Çalışma incelendiğinde farklı yönlerden en avantajlı soğutucu akışkanın R454B olduğu puanlamalarla ortaya çıkmıştır. Ancak 2027 yılı itibariyle 466 KIP değerine sahip R454B soğutucu akışkanı da kısıtlamalar kapsamına girecek, bu akışkana geçiş yapan firmalar 5 yıllık süre içerisinde iki kez ar-ge harcaması ve üretim prosesi değişimine girişecektir. Uygulanan IPCC AR4 raporuna göre bu çalışmada yer alan ve ikinci en iyi alternatif olan 146 KIP değerlikli R454C soğutucu akışkanı ise 5 yıl boyunca kullanım yasağı kısıtına girmeyecektir. Ancak bütün A2L ve A3 sınıfı akışkanları için yine Avrupa Komisyonu tarafından soğutucu devre başına yapılabilir gaz şarjı limitleri araştırılarak ar-ge çalışmaları ve yatırımlar bu doğrultuda yapılmaktadır.

2023 yılında yayınlanan IPCC AR6 raporunca R454C soğutucu akışkanı da uygulanan yeni hesaplamalarla 166 KIP değeri ile belirtilen 150 KIP kısıtlamasının üzerinde kalacaktır. Ancak IPCC AR6 raporunun 2030 öncesinde regülasyonlarda yer almayacağı öngörülmektedir. Günümüzde R454C akışkanının birim maliyet fiyatı ve uyumlu ekipmanların bulunması birkaç öncü firma dışında çok yaygın değildir. Ancak uygulanan uluslararası teşvikler ve akışkan yaygınlığının artışı ile gerek ekipman tedariği gerekse akışkan fiyatlarının da kullanım artışıyla düşecek olması bu akışkanı zamanla daha önde gelen bir alternatif olarak karşımıza çıkaracaktır.

Elde edilen değerlerde puanlamaların genel ortalama oluşturduğu, öneme göre ağırlıklı puanlamalar yapılmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Yine yapılan çalışmada elde edilen değerlerin farklı firmaların ekipmanlarına, farklı seçim kriterlerine, kapasitelere ve optimum uygulama koşullarına göre değişim göstereceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bunun yanında farklı ürün gruplarında farklı mevzuatlar, kısıtlamalar ve yasaklamalar uygulanmakta olduğu için bu çalışma bütün soğutma grupları için genellenemez.

5. KAYNAKÇA

1. Incropera, F., P., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Student Study Guide and Solutions Manual

2. Weigang Hou, Hafez Raeisi Fard, Larry Burns, Eckhard A. Groll, Davide Ziviani, James E. Braun.
   Experimental Investigation of R454C as a Replacement for R410A Experimental Investigation of R454C as a Replacement for R410A in a Residential Heat Pump Split System

3. ANSI/ASHRAE 34-2022, *Designation and Safety Classification of Refrigerants*

4. AR4 IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis.

5. AR6 IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

6. IPCC, 2023. AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.

7. REGULATION (EU) 2024/573 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 7 February 2024 on fluorinated greenhouse gases, amending Directive (EU) 2019/1937 and repealing Regulation (EU) No 517/2014

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GEOMETRIC OPTIMIZATION AND HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN ROTATING CYLINDRICAL FLOW

M.Sc. Student Ünal Yavuz ÇELİK
Kırşehir Ahi Evran University
unalyavuzzcelik@icloud.com - 0009-0001-0957-6853

Assos. Prof. Dr. Merdin DANIŞMAZ
Kırşehir Ahi Evran University
m.danismaz@ahievran.edu.tr - 0000-0003-2077-9237

ABSTRACT

In this study, the fluid dynamic behavior of the flow between two concentric cylinders was investigated using numerical methods. While the inner cylinder rotates at a constant angular velocity, the outer cylinder is kept stationary, and the variations in velocity, pressure, and temperature distributions within the flow domain were analyzed using ANSYS Fluent software. In the analyses conducted within the scope of the study, the annular gap between the cylinders was filled with water, and the effects of the inner cylinder rotating at angular velocities of 40, 60, and 80 rad/s on the flow characteristics were examined. Additionally, geometric modifications were introduced on the outer surface of the outer cylinder by creating protrusions with semicircular, triangular, and rectangular notched sections; these protrusions were arranged at equal intervals and distances on the outer cylinder. It was observed that heat transfer was enhanced under notched surface conditions compared to the smooth-walled surface. In particular, the semicircular notched wall conditions provided the most favorable flow and heat transfer characteristics when considering velocity, pressure, and temperature variations. For this geometry, the temperature difference was found to be approximately 10% lower. Although the temperature drop was greater for the rectangular section, it was associated with higher pressure differences, which is interpreted as leading to a significant increase in pumping power. An increase in rotational speed was found to enhance vortex formation in all cases, and notched conditions amplified the vortices, thereby increasing thermal effects.

Keywords: Flow in rotating cylinder, Heat transfer enhancement, Wall optimization, CFD

1. INTRODUCTION

Rotating flows between coaxial cylinders, known as Taylor–Couette flow, constitute a classical testbed in fluid dynamics characterized by rich vortex structures and flow stability within the regime where Taylor vortices form [1]. The development of Taylor vortices strengthens radial transport of mass and momentum, leading to enhanced heat transfer relative to laminar flow and contributing to improved efficiency in industrial applications [2]. Passive surface modifications, such as cracks, grooves, or roughness features integrated on the outer cylinder surface, disrupt the thermal boundary layer and can augment heat transfer; however, they often incur additional energy costs in the form of pressure drop and increased shear resistance. Consequently, design-oriented studies compare a variety of configurations to optimize the trade-off between heat transfer enhancement and hydraulic penalties [3-5].

The effects of geometric alterations on the surface emerge as a leading strategy for passive heat transfer augmentation. Beyond smooth-wall configurations, features integrated into the outer cylinder, such as slot-like grooves, notches, or roughness elements, disturb the boundary layer and promote mixing and thermal transport, albeit at the expense of additional pressure losses and frictional losses [6]. In particular, comparative studies have reported how different geometric configurations (for example, semi-circular, triangular, and rectangular notches) influence flow and heat transfer, with the rotational speed of the inner cylinder modulating the performance of these geometries [7-9]. The literature also highlights the role of various heat-transport models (Maxwell–Cattaneo/Christov-type formulations) and finite-speed effects in elucidating how surface modifications balance energy efficiency, guiding the design of practical cooling and mixing strategies [10-12].

This study examines, in a coaxial configuration with the outer cylinder fixed, the impact of different inner-surface notch geometries (semi-circular, triangular, and rectangular) on flow and heat transfer, using numerical simulations. By varying the inner-cylinder angular speeds (for example, 40, 60, and 80 rad/s), the work compares the thermal and hydrodynamic responses associated with these surface modifications [13-14]. The literature suggests that finite-speed heat conduction models can illuminate how geometry-induced changes in energy transport can be reconciled with efficiency objectives, thereby providing a conceptual foundation for design recommendations [15-16]. Ultimately, the present work aims to illuminate the interplay among flow, mixing, and heat transfer in Taylor–Couette systems with modified surfaces and to offer a roadmap for energy-efficiency–driven design guidelines grounded in numerical evidence.

2. APPLICATIONS

2.1. Geometry

The geometry was created in ANSYS SpaceClaim using the Primitives tools. The cylinders were modeled concentrically, and geometric modifications on the outer cylinder were defined to observe flow behavior during the analysis.

Boundary conditions were defined as follows: an inlet velocity of 0.1 m/s was applied, while analysis conditions were maintained for turbulence intensity and viscosity ratio. Water was selected as the working material. Pressure-outflow boundary conditions were applied at the pipe exits. The wall was defined as Moving Wall, with the Rotation type set to Rotational, the

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

rotation axis along the Z-direction, and an angular velocity of 40 rad/s. As shown In Figure 1, the flow domain cross-section was defined as flat (Case 1), semicircular (Case 2), triangular (Case 3), and rectangular notched (Case 4).

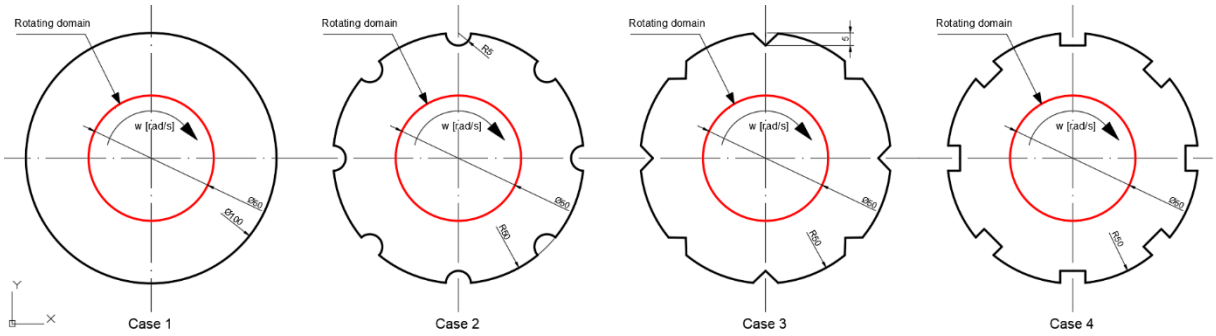


Figure 1. Flow domain cross-section, a) flat, b) semicircular, c) triangular, d) rectangular-notched

2.2. Materials and Methods

The fluid used is defined as water under standard atmospheric conditions. The flow is considered to be continuous and incompressible flow. The numerical methods and parameters are given by Hwang et al. [4]. The governing incompressible continuity and momentum equations for a reference frame rotating with a cylinder at constant angular velocity **Ω** are also given below.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0, \tag{1}$$

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \vec{\nabla})\vec{u} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}P + \nu\vec{\nabla}^2\vec{u} - 2\vec{\Omega} \times \vec{u}, \tag{2}$$

The governing equations are discretized using the finite volume method on a cylindrical grid system. A hybrid scheme is used for time advancement; nonlinear terms are explicitly advanced using a third-order Runge-Kutta scheme, while other terms are implicitly advanced using a Crank-Nicolson scheme. The fractional step method is used to account for the continuity and momentum equations. Details of the governing equations can be found in the literature [4, 8, 17].

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Cell Evaluation and Analysis Settings

Mesh operations were performed in the ANSYS Meshing module. In this context, Edge Sizing was applied to the edges of the inner cylinder and the circular edges of the outer cylinder, and the number of cells was selected according to a specific control criterion. To preserve the division strategy on the surfaces, the Behavior was set to Hard. The Method-Sweep option was chosen for the body, and the Axisymmetric Algorithm was enabled to suit the cylindrical structure. Adaptive Sizing was activated to achieve better cell quality, and the resolution was increased to obtain a regular mesh structure.

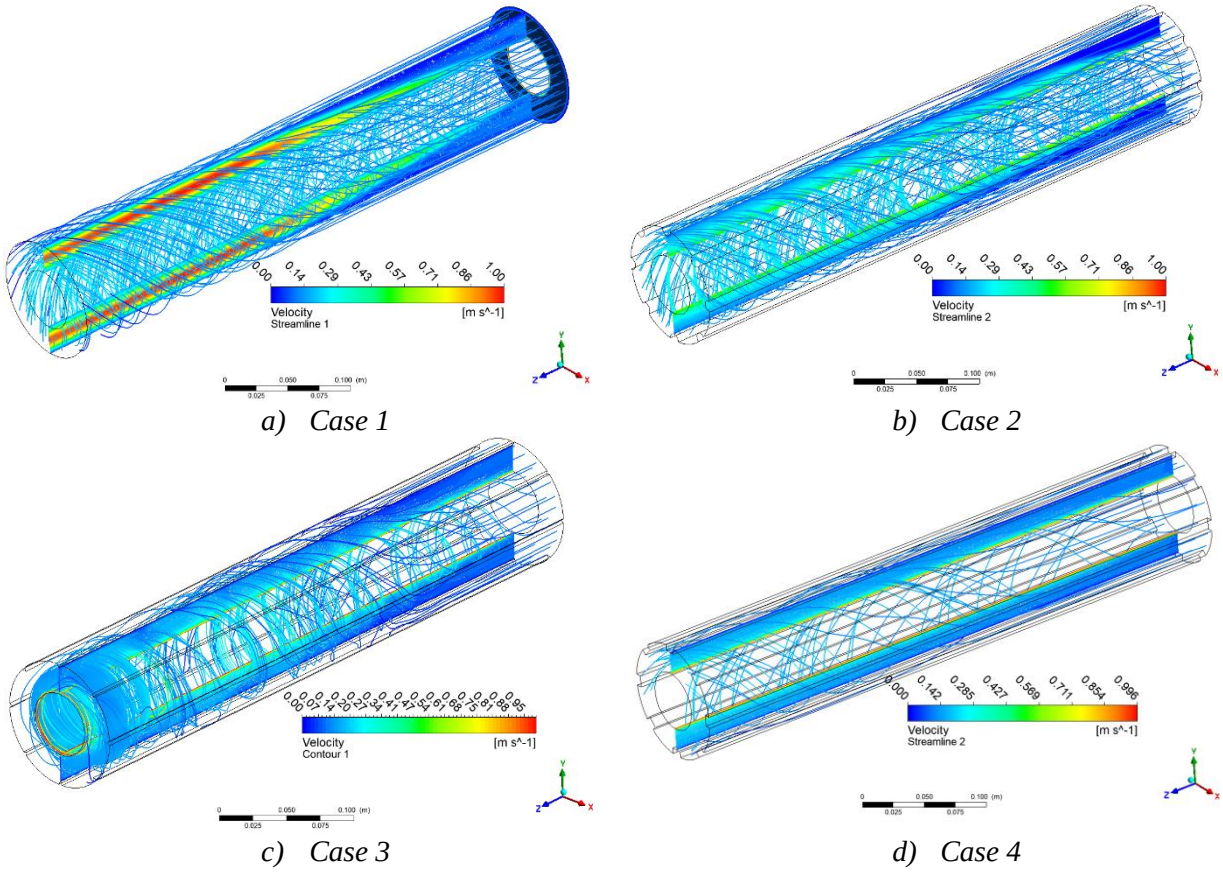
Walls were kept stationary, and wall roughness was maintained at default values. In the numerical solution, the Coupled algorithm was used for pressure-velocity coupling. The Second-Order Upwind discretization scheme was applied for the momentum, turbulence kinetic

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

energy (k), and specific dissipation rate (ω) equations. To enhance solution convergence, residuals for all equations were reduced to the order of 10^{-5}. Initialization was performed using Standard Initialization, and the solution was continued until convergence was achieved. The effect of cell number on the analysis conditions was also considered. Simulations were performed for five different cell counts ranging from 100,000 to 900,000. It was observed that no significant changes in residuals occurred for the last two cases beyond 540,000 cells. Therefore, all subsequent analyses were conducted using cell counts of 540,000 or higher. All analyses were performed with Fluent 2024 software.

3.2. Velocity contours

Figure 2 presents the average temperature variations obtained from the analysis across all cases. The velocity fluctuations and turbulent effects in the notched cavities are clearly evident. These observations indicate that the present conditions are likely to enhance heat transfer.



a) Case 1 *b) Case 2*

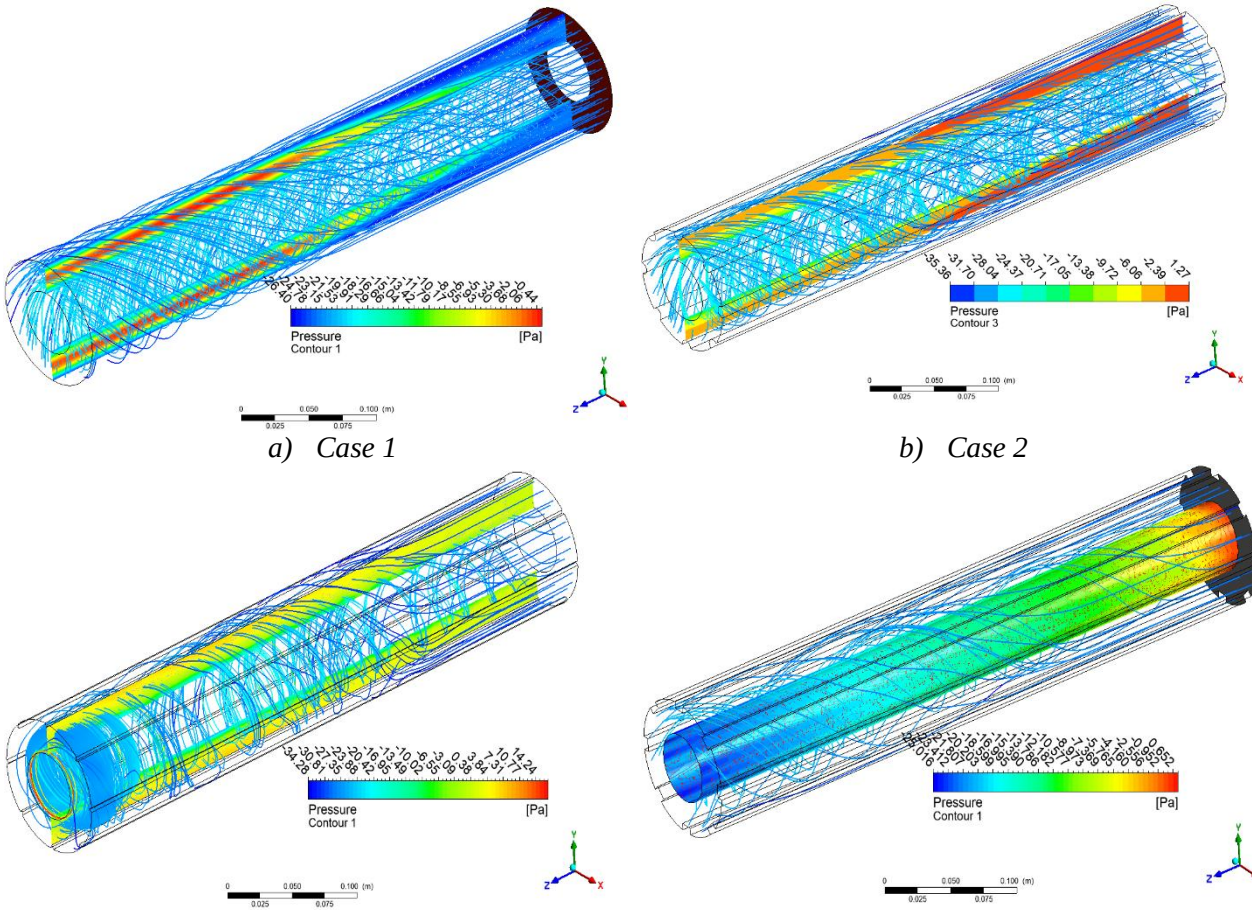
c) Case 3 *d) Case 4*

Figure 2. Area-Average Velocity distributions with streamlines

3.3. Pressure Variation

Figure 3 shows the average pressure drop variations obtained from the analysis across all cases. The formation of low-pressure regions in the notched cavities and turbulent effects are clearly evident. This behavior is also understood to act to enhance heat transfer in an inversely proportional relationship with the velocity variations.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



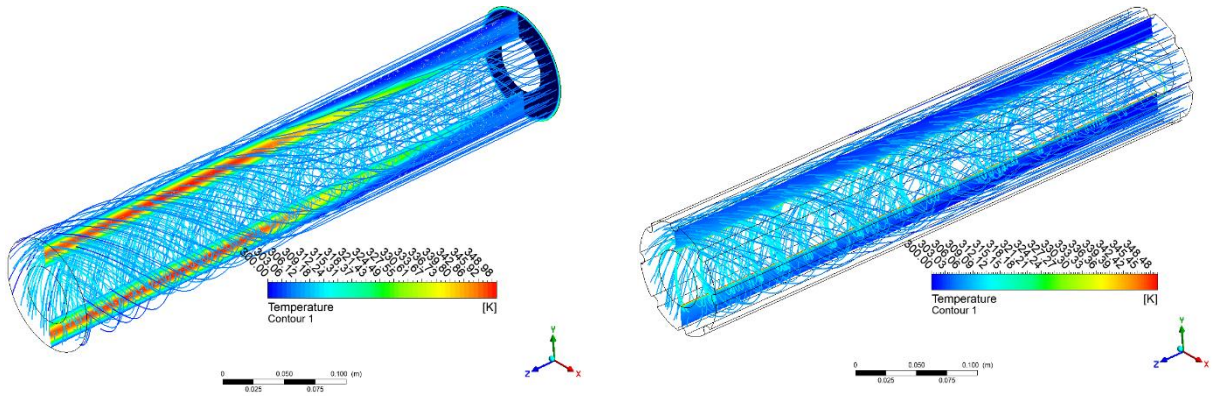
a) Case 1 *b) Case 2*

c) Case 3 *d) Case 4*

Figure 3. Pressure distributions with streamlines

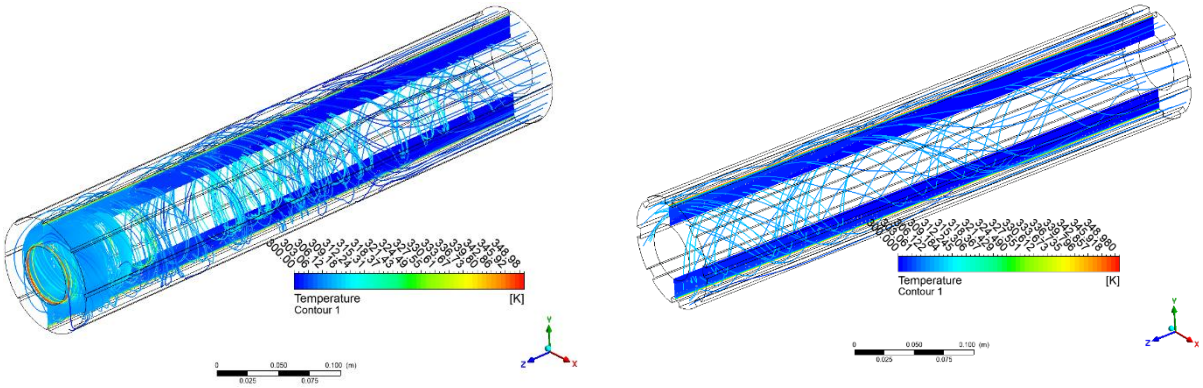
3.4. Temperature Variation

Figure 4 shows the temperature variations obtained from the analysis across all cases. The formation of low-pressure regions in the notched cavities governs the streamwise temperature distribution along the channel and, consequently, the changes in turbulent effects. Across all notched sections, higher temperature values are observed compared to the unnotched case (Case 1). In particular, although the rectangular notch (Case 4) reaches high temperature values, the flow assessment is relegated to a secondary consideration due to the higher pumping power required. For Case 3, the situation can be described as relatively balanced.



a) Case 1 *b) Case 2*

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

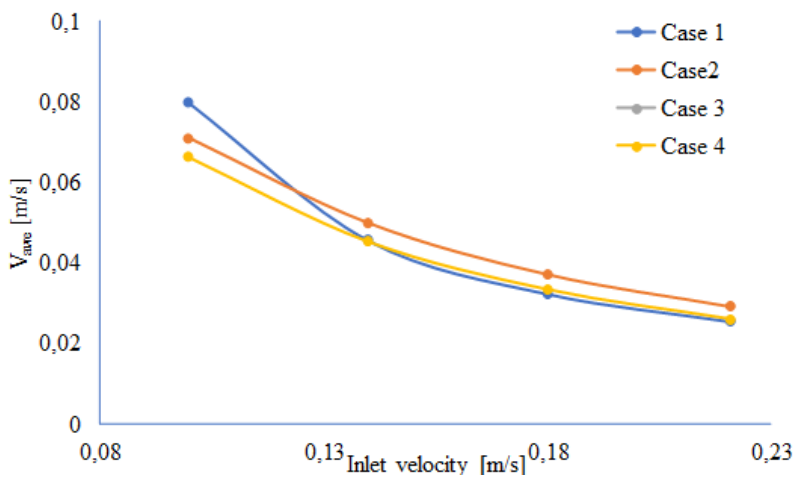


c) Case 3 *d) Case 4*

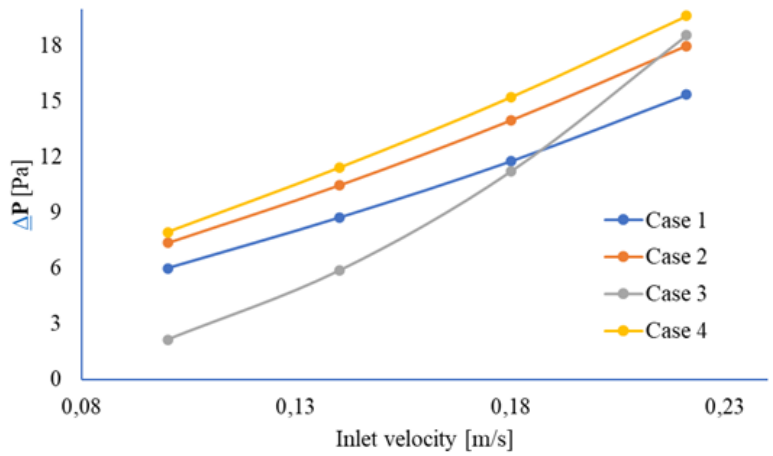
Figure 4. Temperature distributions with streamlines

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

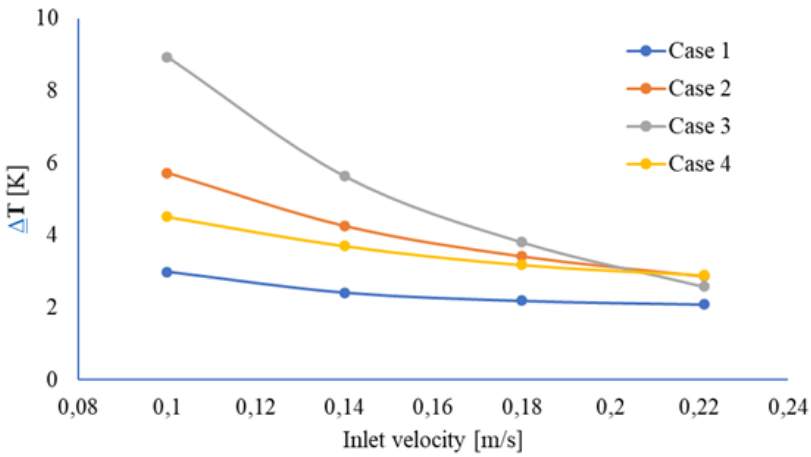
From the results obtained for each geometry, comparative analyses were performed by evaluating the velocity field distributions, pressure contours, temperature variations, shear stresses on the cylinder surfaces, pressure drops, and maximum–minimum velocity values. In Figure 5, the variations in velocity, pressure difference, and temperature difference are shown for the respective subfigures a, b, and c. As seen in Figure 5a, the average velocity values decrease with increasing inlet velocity for all cases. Notably, for Case 1 the reduction is more pronounced than in the other cases, indicating an evident notch (cavity) effect. An increase in inlet velocity is therefore expected to elevate the pressure drop. However, as illustrated in Figure 5b, Case 3 (triangular notch section) exhibits a greater increase in pressure drop with rising velocity compared to the other cases. Similarly, an increase in inlet velocity is expected to reduce the temperature difference; this tendency is clearly demonstrated in Figure 5c. For Case 3, the temperature drops, and consequently the thermal effects—are more pronounced with increasing velocity.



a) Average velocity



b) Pressure drops



c) Temperature difference

Figure 5. Evolutions of Velocity, Pressure drops and Temperature differences for all the cases

REFERENCES

[1] Andereck, C. D., & S. S. (1986). Flow regimes in a circular Couette system. Journal of Fluid Mechanics, 164, 15S183.

[2] Malatesta, V. (2017). Heat transfer in Taylor–Couette flow. In Proceedings of the 24th ABCM International Congress of Mechanical Engineering (ABCM).

[3] Masuda, H. N. (2023). Thermo-fluid dynamics and synergistic enhancement of heat transfer by interaction between Taylor–Couette flow and heat convection. Philosophical Transactions A.

[4] [Hwang, J. Y., Yang, K. S., & Bremhorst, K. (2007). Direct numerical simulation of turbulent flow around a rotating circular cylinder. Journal of fluids engineering, 129(1), 40-47.

[5] Abed, W. M., & A.-D., A. (2021). Convective heat transfer in an annulus of concentric and eccentric cylinders with an … Iraq: IIETA.

[6] Yan, Z. L. (2015). Slit wall and heat transfer effect on the Taylor vortex flow. Energies, 8(3), 1958–1974.

[7] Sarfraz, M., Ahmed, A., Khan, M., Iqbal, Ch., M. M., & Azam, M. (2024). Significance of the Cattaneo–Christov theory for heat transport in swirling flow over a rotating cylinder. Waves in Random and Complex Media, 34(6), 6002–6014.

[8] Wang, C. Y. (1974). Axisymmetric stagnation flow on a cylinder. Quarterly of Applied Mathematics, 32, 207–213.

[9] Khan, M., Sarfraz, M., Ahmed, A., et al. (2021). Energy transport in axisymmetric flow on a rotating cylinder with heat source/sink and chemical reaction. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. https://doi.org/10.1177/09544089211050145

[10] Christov, C. I. (2009). On frame indifferent formulation of the Maxwell–Cattaneo model of finite speed heat conduction. Mechanics Research Communications, 36, 481–486.

[11] Li, J., Zheng, L., & Liu, L. (2016). MHD viscoelastic flow and heat transfer over a vertical stretching sheet with Cattaneo–Christov heat flux effects. Journal of Molecular Liquids, 221, 19–25.

[12] Mushtaq, A., Mustafa, M., Hayat, T., et al. (2014). On the numerical solution of the nonlinear radiation heat transfer problem in a three-dimensional flow. Zeitschrift für Naturforschung A, 69(12), 705–713.

[13] Ahmed, A., Khan, M., Ahmed, A., et al. (2020). Mixed convection in unsteady stagnation point flow of Maxwell fluid subject to modified Fourier's law. Arabian Journal of Science and Engineering, 45, 9439–9447.

[14] Zhang, Y., Zhang, Y., Bai, Y., et al. (2021). Heat and mass transfer analysis of polyacrylamide nanofluid with specific enthalpy effect. Case Studies in Thermal Engineering, 26, 101060.

[15] Gorla, R. S. R. (1978). Non-similar axisymmetric stagnation flow on a moving cylinder. International Journal of Engineering Science, 16, 392–400.

[16] Barilaro, D., Barone, G., Crupi, V., & Majolino, D. (2005). Characterization of archeological findings by FT-IR spectroscopy. Spectroscopy, 20(4), 4–18.

[17] Rosenfeld, M., Kwak, D., & Vinokur, M. (1991). A fractional step solution method for the unsteady incompressible Navier-Stokes equations in generalized coordinate systems. Journal of Computational Physics, 94(1), 102-137.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NUMERICAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF DESIGN PARAMETERS ON THE PERFORMANCE OF AN AIR-SOURCE HEAT PUMP CONDENSER

M.Sc. Student Zaid Ahmed Al-QUHAITI
Kırşehir Ahi Evran University
al-quhity.zaid@ogr.ahievran.edu.tr- 0009-0007-5558-8170

Assoc.Prof. Dr. Merdin DANIŞMAZ
Kırşehir Ahi Evran University
m.danismaz@ahievran.edu.tr - 0000-0003-2077-9237

ABSTRACT

Energy efficiency, environmental sustainability, and the effective use of renewable energy sources have become the central focus of modern engineering research. In this context, Air Source Heat Pumps (ASHPs) are widely preferred systems due to their low carbon emissions and high energy efficiency. However, the overall performance of these systems is directly dependent on the design characteristics of their heat exchange components, particularly the condenser. Geometric characteristics and flow conditions of the condenser are among the most critical factors determining the system's Coefficient of Performance (COP). In particular, decreasing the tube diameter increases heat transfer but also leads to higher flow resistance. Similarly, increasing the number of fins enhances the surface area and improves heat transfer, while simultaneously causing a rise in air-side pressure loss. Additionally, numerical studies have revealed that air maldistribution negatively affects system performance, whereas selecting an appropriate airflow guiding geometry and tube arrangement can improve seasonal performance by up to 7%. These findings provide significant insight not only for improving instantaneous performance but also for enhancing seasonal COP and overall annual energy efficiency. Therefore, within the scope of this study, the effects of design parameters of an air-source heat pump condenser on system performance will be investigated numerically. For various tube and fin geometries, heat transfer, pressure drop, and energy efficiency will be evaluated, and the results will be compared to determine the optimal design conditions. This approach will both support the existing literature and contribute to future efficiency enhancement studies for heat pump systems.

Keywords: Heat Pump, Condenser Design, Heat Transfer, Geometric Optimization

1. INTRODUCTION

This study focuses on the numerical investigation of condenser design parameters that influence the performance of Air Source Heat Pumps (ASHP) within the context of energy efficiency and environmental sustainability. The increasing global energy demand and the environmental impacts of fossil fuels have made the development of high-efficiency and renewable-energy-based systems essential. For this reason, heat pumps have become increasingly widespread in both residential and industrial applications due to their low energy consumption and environmentally friendly operation. In the literature, numerous studies have been conducted with the aim of improving heat pump performance. In particular, the effects of geometric optimization, different flow arrangements, fin structures, and tube configurations on heat transfer and pressure drop have been widely investigated in the design of condensers and evaporators [1-4]. Several studies have demonstrated that numerical analyses obtained through Computational Fluid Dynamics (CFD) provide results that are as reliable as physical experiments, and that CFD is an important tool for optimizing system performance. However, many existing studies tend to focus on a single geometric parameter or a specific operating condition, resulting in limited systematic performance evaluation and optimal design analysis.

What distinguishes this study is the simultaneous evaluation of multiple design parameters, such as tube diameter, fin number, flow rate, and fin spacing, and the comprehensive analysis of their effects on the heat transfer coefficient, pressure drop, and overall COP [5-8. Furthermore, this study examines not only geometric variables but also the influence of operating conditions. In this context, the inlet temperature and mass flow rate of the fluid entering the condenser are varied under different scenarios, and their effects on heat transfer behaviour and system performance are numerically evaluated. In this way, the combined impacts of both design and operational parameters on system performance are revealed. The numerical model used in this study aims to produce results closer to real operating conditions by simultaneously considering air-side flow characteristics and heat transfer [9-11].

This research aims to contribute to the literature in two main ways:

- By providing a systematic approach for determining the optimal condenser geometry and suitable operating conditions through a comparative analysis of design and operational parameters.
- By offering a practical example of how numerical analysis-based methods can be used more effectively in the design and performance evaluation of heat pump components.

The originality of this study lies in the combined analysis of multiple geometric and operational variables that affect condenser performance, and in evaluating these analyses from an energy-efficiency perspective. In this respect, the study has the potential to inspire future experimental research and CFD-based optimization studies. Improving both condenser geometry and operating conditions not only enhances energy efficiency but also contributes significantly to the economic and environmental sustainability of the system.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, the thermal and flow analysis of the condenser used in a heat pump system was carried out. Geometric details are given in Figure 1.

The materials, equipment, and calculation methods used in the analyses are summarized below:

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

- The condenser model used in this study has a copper-tube, aluminum-fin (Cu–Al) heat exchanger structure, which is commonly used in heat pump systems.
- The tubes were selected as copper ($\lambda \approx 385$ W/mK) due to their high thermal conductivity. The fins were modelled using aluminum ($\lambda \approx 205$ W/mK) because of its light weight, low cost, and good thermal conductivity.

R134a, a refrigerant widely used in the industry, was selected as the working fluid circulating inside the condenser. The thermodynamic properties of the refrigerant (pressure, temperature, density, enthalpy, entropy, etc.) were considered based on ASHRAE and REFPROP data [12,13].

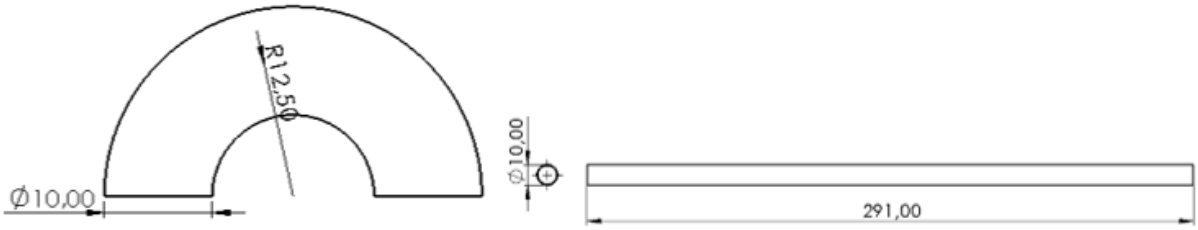


Fig 1. Measurements of copper pipe

Fin details are shown in Figure 2. No physical experiments were conducted in this study; all thermal and flow analyses were performed computationally. All analyses were carried out using the SolidWorks Flow Simulation module.

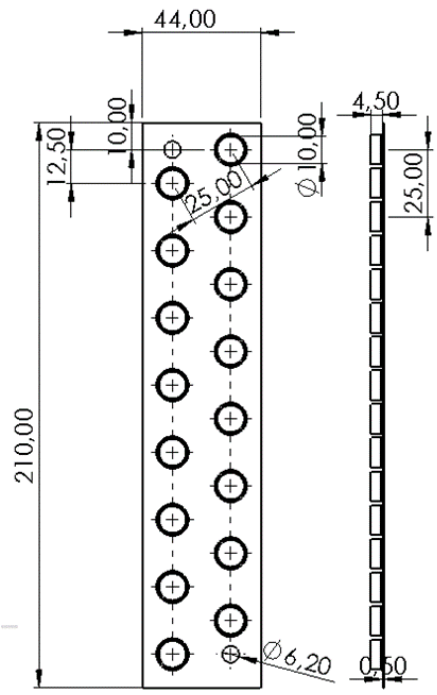


Fig 2. Aluminum fin details

This software is a CFD tool capable of solving heat transfer, convection, turbulence models, and energy equations. A mesh structure was created according to the model geometry, and a finer mesh was applied in the tube regions to obtain more accurate results. As boundary

conditions, a specific mass flow rate ($\dot{m}$) and inlet temperature were defined at the condenser inlet, while the outlet was assigned the same pressure value. For this type of study, the fundamental setup consists of a heat exchanger model in which the tube, fin, refrigerant, and airflow interact. The same configuration or geometry can be modelled by another researcher and CFD analysis can be repeated, provided that the necessary information is supplied. Since the materials, boundary conditions, and numerical methods used in this study are clearly defined, it is possible for another researcher to remodel the same geometry and obtain similar results (Fig.3).

2.2. Method Used and Main Formulas

This study is entirely based on numerical (computational) analysis methods. No physical experiments were conducted; instead, heat transfer and flow analyses were performed using SolidWorks Flow Simulation software. Analytical methods were used only for validating the results and supporting the COP calculations. Therefore, the main methodology of the study is CFD-based numerical analysis. In addition, the inlet temperature and mass flow rate were varied under different scenarios to examine how condenser performance changes depending on operating conditions, and the effects of these variables on system behavior were evaluated

1. Numerical Method and Solution Approach

SolidWorks Flow Simulation uses the Finite Volume Method (FVM) to solve the Navier–Stokes equations, energy equations, and turbulence models. The single-phase region of the refrigerant R134a was analyzed. The standard k–ε turbulence model was selected.

The mesh structure created on the model was refined particularly near the tube surfaces to accurately resolve internal flow and heat transfer, while a medium-density mesh was applied in the fin regions. Within the scope of this study, the inlet temperature of the fluid (in the range of 60,80, and 100 °C) and the mass flow rate were defined at different values, and the effects of these two important operating parameters on heat transfer and system performance were investigated in detail.

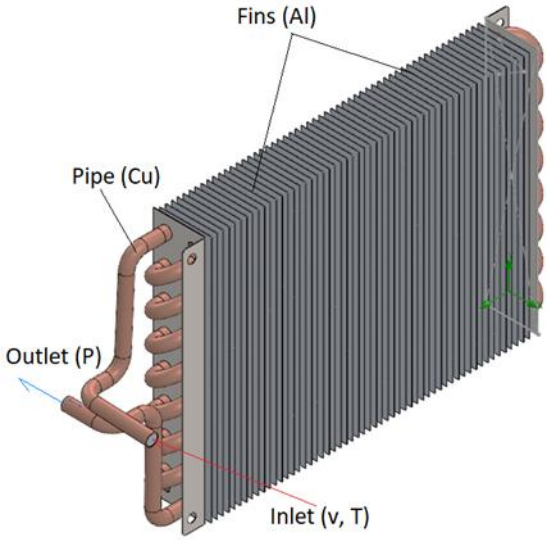


Fig 3. 3D Model

2. Main Formulas Used in the Analysis

a) Fundamental Heat Transfer Equation

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

The heat transfer occurring in the condenser is expressed as: $Q=h\cdot A\cdot(T\text{surface}-T\text{fluid})$
Where:
h: Convective heat transfer coefficient (W/m²·K)
A: Heat transfer surface area (m²)
$T_{surface}$: Tube or fin surface temperature
T_{fluid}: Fluid temperature
b) Surface Heat Flux
$q''=Q.A$
This quantity was used as a boundary condition in the model.
c) Energy Balance Equation
Using the inlet and outlet enthalpies of the fluid: $Q=\dot{m}\cdot(h\text{ in}-h\text{ out})$
d) Coefficient of Performance (COP)
$COP=Q\text{out}/W\text{compressor}$
3. Assumptions
The following assumptions were applied in the analyses:

- The refrigerant was assumed to be in a single-phase region (condensation was not modeled explicitly in CFD).
- The flow was analyzed under steady-state conditions.
- Tube and fin materials were assumed homogeneous and isotropic.
- Ambient air was assumed to have constant temperature and constant velocity.
- Compressor losses and heat losses in connecting pipes were not included in the model.
- Radiation heat transfer was neglected → only convection + conduction were considered.

4. Boundary Conditions
The main boundary conditions used in the model are as follows:
a) Inlet Boundary Condition

- Mass flow rate of the refrigerant: $\dot{m}=0.01\text{-}0.02\ kg/s$
- Inlet temperature (based on literature values): $T_{in} = 60, 80, 100\ °C$
- Inlet pressure selected according to the saturation pressure of R134a.

b) Outlet Boundary Condition

- "Environment Pressure" or "Outlet – Static Pressure" (constant outlet pressure) was applied.
- Outlet temperature (not prescribed): $T_{out} \approx 35\ °C$

c) Wall Conditions
Wall materials: Copper and aluminium
Heat flux boundary condition: q''=250_800 W/m2
5. Input Parameters
The main input parameters used in the analysis:

- Refrigerant: R134a
- Inlet pressure: Selected from the saturation table of R134a
- Ambient air temperature: *20 °C*
- Air velocity: 10–20 m/s (natural / forced convection scenarios)
- Tube outer diameter, fin spacing, and number of rows: According to the design geometry

3. VALIDATION

In order to verify the accuracy of the numerical analyses conducted in this study, similar condenser studies available in the literature were utilized. The purpose of the validation is to determine whether the developed CFD model produces realistic results.

3.1. Comparison Method Used

In the literature, studies on air-cooled copper tube–aluminum fin condensers typically report the following findings:

- The temperature distribution on the tube surface varies within a certain range.
- The temperature on the fin surfaces decreases steadily from the inlet to the outlet.
- The total heat transfer rate (Q) falls within a characteristic interval.

The results obtained in this study were found to be consistent with these general behaviors described in the literature. In particular, the temperature distribution and heat flow patterns align with those reported in numerical studies conducted on similar condenser geometries.

3.2. Assumptions Used

The following simplified assumptions were considered during the validation process:

- The airflow is steady and uniform.
- The thermal properties of the tube and fin materials are constant.
- The heat flux transferred from the tube surface to the ambient is assumed to be uniform.
- The effects of components such as the compressor, fan, or any additional equipment were not included in the model.

These assumptions are also commonly employed in simplified CFD studies in the literature.

3.3. Boundary Conditions and Comparison Limits

The boundary conditions applied in the model were constrained as follows:

- The inlet air temperature was assumed constant (e.g., 25°C).
- The heat flux (heat transfer rate) applied to the tube surface was taken as constant.
- Constant pressure conditions were assumed.

These conditions are consistent with those used in similar condenser analyses in the literature and are therefore suitable for comparison.

3.4. Evaluation of Validation Results

The results obtained from the CFD analysis, including:

- temperature distribution,
- airflow behavior,
- total heat transfer amount,

were found to be in agreement with similar studies reported in the literature. Therefore, the model was evaluated to produce results with acceptable accuracy.

4. RESULTS

In this study, the graphs and results obtained from the CFD analyses performed in the heat exchanger focus on three main parameters: temperature distribution, air flow behavior, and the total amount of heat transfer (Q). These parameters were selected because they directly affect the performance of the system.

4.1. Temperature Distribution

The temperature distribution graphs show how the temperature of the fluid changes along the tubes and how this temperature is transferred to the tube wall. According to the analysis results, the refrigerant, which is 60–80–100°C at the inlet, gradually cooled along the tubes and reached

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

approximately 35°C at the outlet. Temperature contours at different flow rates are given in Figures 4 and 5. This result reveals that a strong heat transfer occurs from the fluid to the tube wall. The wall temperature distribution observed in the CFD analysis confirms that the wall temperature also shows a controlled decrease at the points where the fluid temperature decreases. This situation shows that the heat transfer chain in the form of fluid → tube wall → fins → air works as expected. The heat flux on the inner surface of the tube continuously occurred due to the temperature difference between the fluid and the wall. Especially in the inlet region, since the fluid temperature is higher, the temperature gradient on the wall surface is larger; this caused a higher heat flux (q") in the inlet part. As the temperature decreases along the tube, the difference between the wall and the fluid decreases, and the heat transfer gradually decreases. Therefore, the temperature distribution shows not only the cooling behavior of the fluid but also the heat transfer mechanism on the wall surface in a clear manner.

The critical graph used in this section is the wall temperature profile together with the fluid temperature profile from the inlet to the outlet. When these two graphs are evaluated side by side, the thermal efficiency of the system, the homogeneity of the heat transfer through the wall, and the amount of energy transferred to the fins can be understood more clearly. The balanced temperature distribution in both the fluid and the tube wall shows that the design works according to its purpose, the thermal resistance is low, and the energy losses remain at a minimum level.

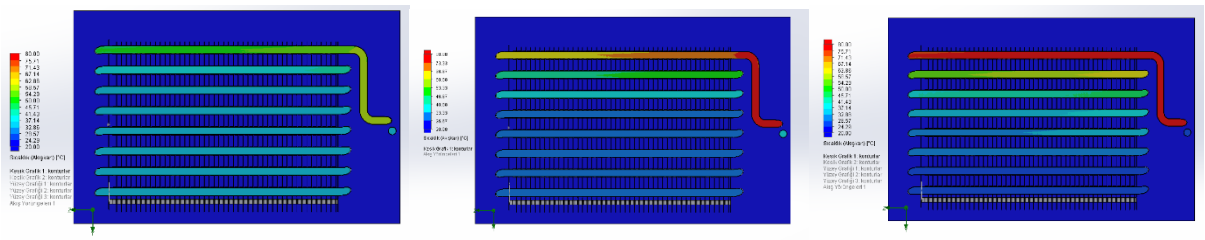


Fig 4. Front-view truncated graph of temperature "fluid" at 0.01 kg/s (60-80-100°C)

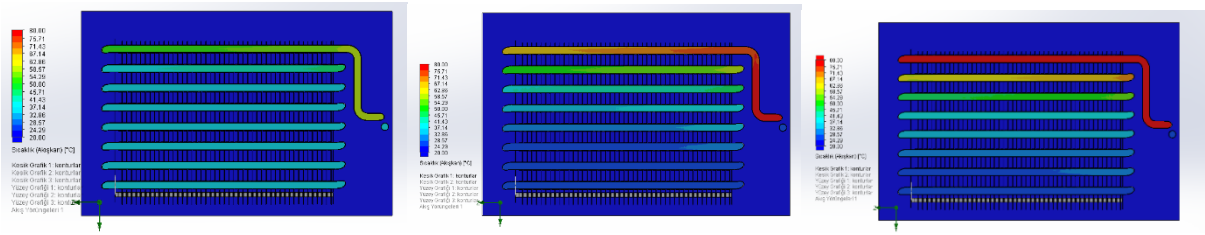


Fig 5. Front-view truncated graph of temperature "fluid" at 0.02 kg/s (60-80-100°C)

4.2. Wall Temperature

The analysis results show that the wall temperature on the condenser tubes is a critical parameter in understanding the thermal behavior of the fluid (Fig. 6). The wall temperature distribution obtained in the CFD study clearly revealed how the heat is transferred from the tube wall to the external environment and how the thermal load changes along the surface. In general, the wall temperature showed higher values at points close to the inlet region. The reason for this is that the fluid still has a high temperature in this region and the condensation/heat release process occurs most intensely here. As the fluid advances along the

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

tube, the heat difference decreases, and accordingly, the wall temperature also shows a gradual decrease. This behavior is consistent with the typical heat transfer characteristic of a condenser.

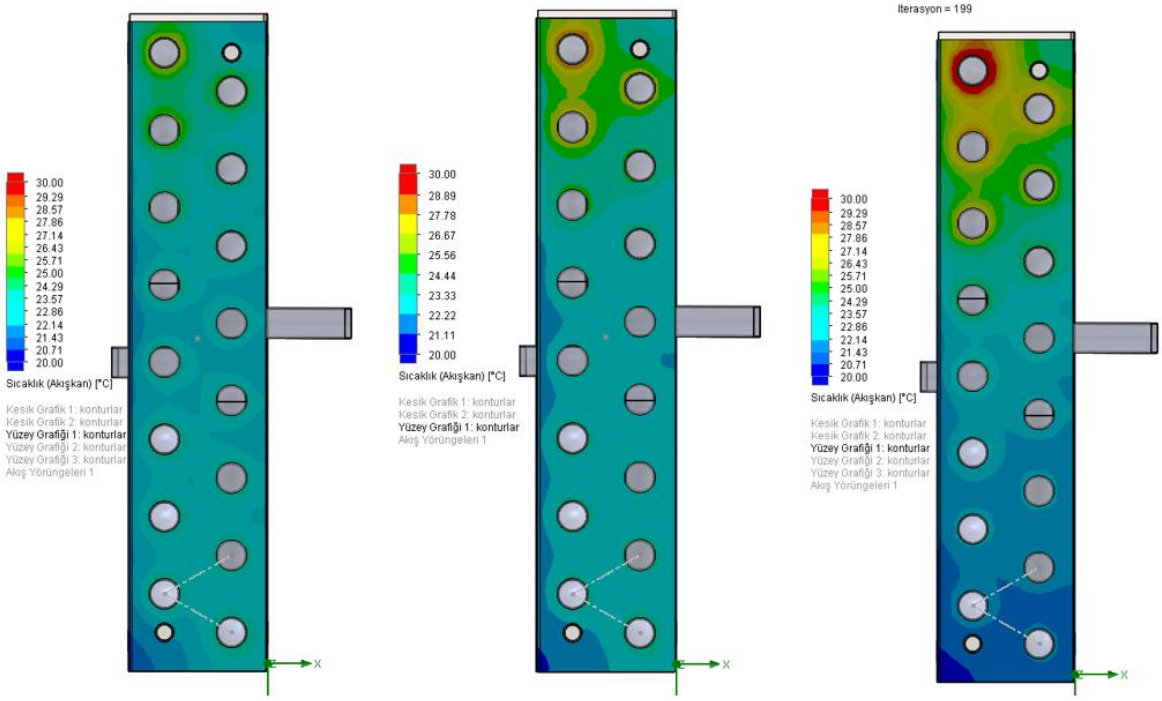


Fig 6. Wall temperature at 0.01 kg/s (60-80-100°C) and surface temperature from the right side

The non-homogeneous wall temperature along the surface is caused by the flow field around the tube, the velocity distribution, and the variations in the local heat flux. In the surfaces where the air moves faster, the temperature drop becomes more noticeable, while in the regions where the flow slows down or the boundary layer becomes thicker, the wall temperature remains higher (Fig. 7).

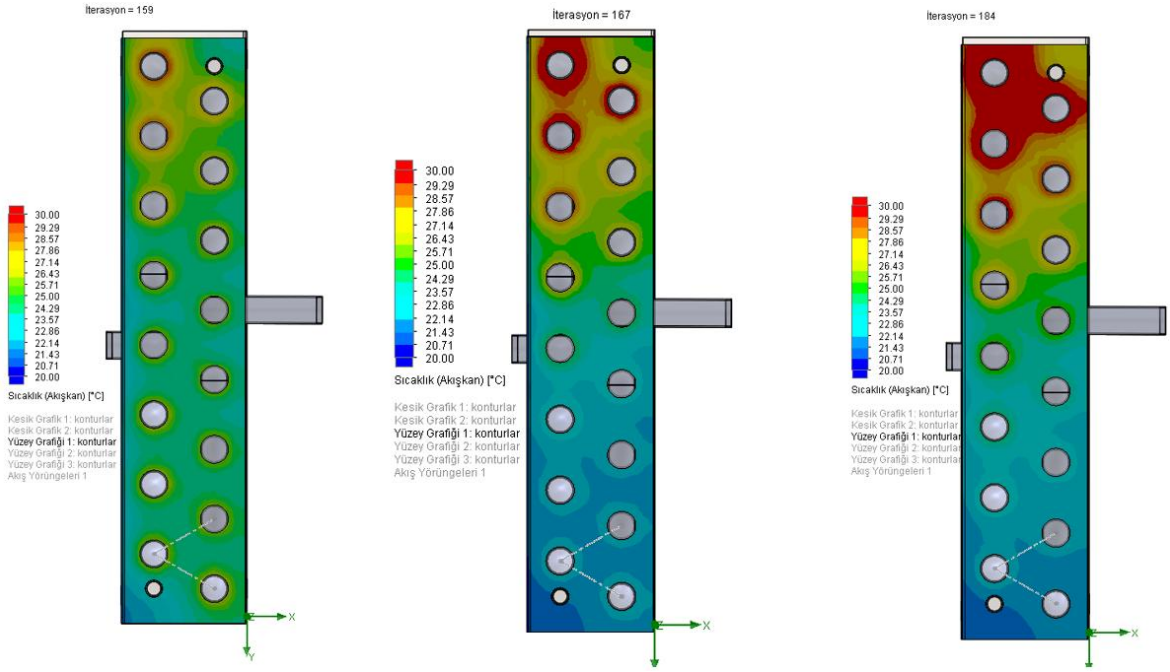


Fig 7. Wall temperature at 0.02 kg/s (60-80-100°C) and surface temperature from the right side

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

This finding as shown in Fig. 8 demonstrates that the wall temperature is not only dependent on the inlet temperature but is also directly affected by parameters such as the local heat flux, flow characteristics, and surface geometry. The distribution related to the wall temperature is a fundamental indicator for evaluating condenser performance and understanding the thermal effectiveness of the system.

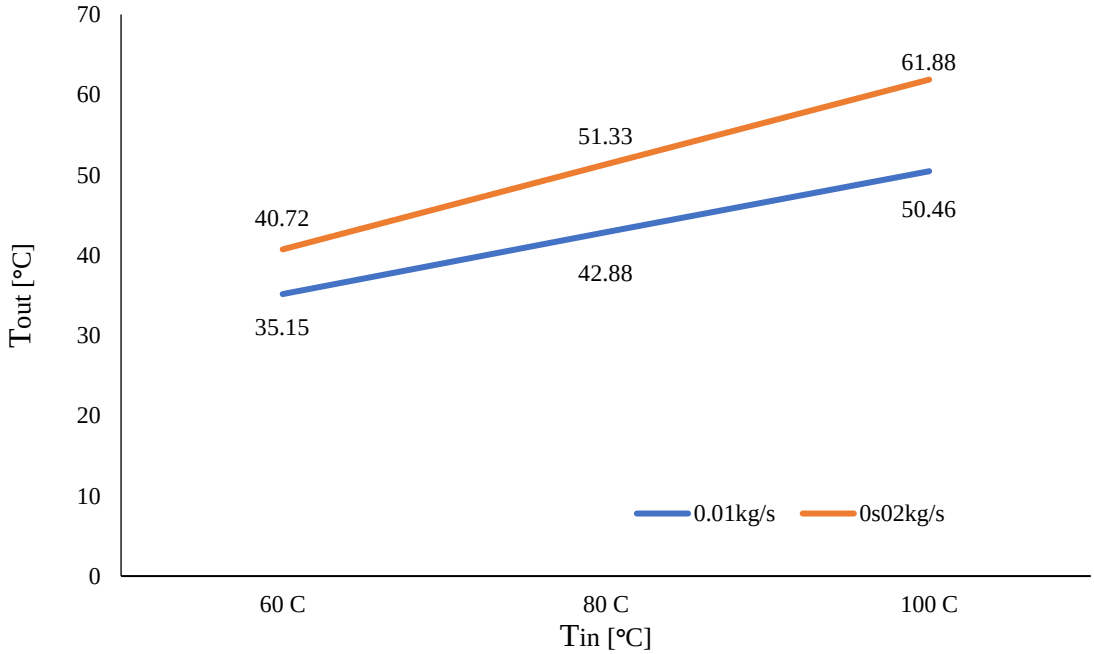


Fig 8. Difference in wall temperature (60-80-100°C)

4.3. Air Flow Behaviour

The CFD analyses revealed that the air flow around the tubes and fins is regular and stable. No large turbulences or flow distortions were observed during the analyses.

This finding shows that the system operates in a stable regime and supports the effectiveness of heat transfer. The stability of the air flow increases the reliability and predictability of the heat exchanger performance. The critical graph here is the CFD images showing the air velocity vectors and the flow pattern; these graphs confirm how balanced the design is in terms of aerodynamics and thermal performance (Fig. 9).

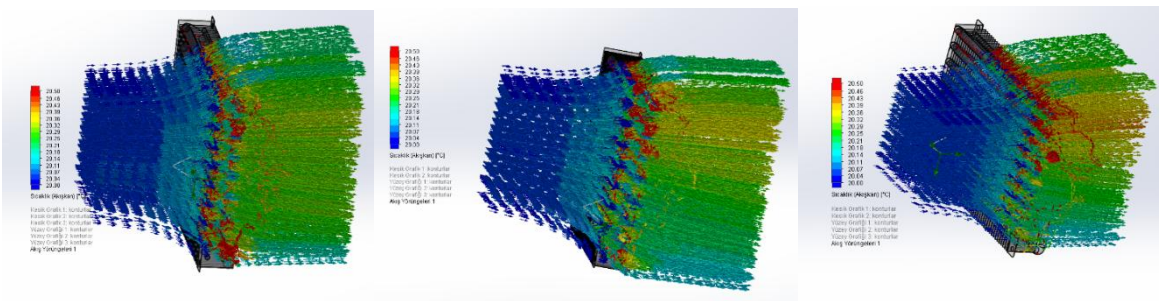


Fig 9. Airflow behavior (60-80-100°C)

4.4. Total Heat Transfer Amount (Q)

I. Input Data Used (Approximate)
• Mass flow rate $\dot{m}$ = 0.01 and 0.02 kg/s
• Refrigerant inlet temperature 60, 80, 100°C
• Refrigerant outlet temperature 35°C
• Saturation temperature corresponding to the selected pressure 40°C (P = 1,016,600 Pa)

II. Approximate Thermodynamic Values
The results obtained are presented comparatively in Table 1.

Table 1. Approximate Thermodynamic Values (60-80-100°C)

Parameter	60°C	80°C	100°C
Inlet enthalpy h_{in} (kJ/kg)	441,53	462,4	483,21
Outlet enthalpy h_{out} (kJ/kg)	287,51	322,39	373,3
Enthalpy difference Δh (kJ/kg)	154,02	140,01	109,91
Compressor inlet enthalpy h_1 (kJ/kg)	426,63	428,81	407,68
Compressor enthalpy difference = h_{in} - h_1: Δh_{comp} (kJ/kg)	14,9	33,59	75,53

III. Calculations
• Heat transferred in the condenser:
$Q=\dot{m}\times\Delta h$
• Compressor power:
Wcomp=$\dot{m}\times\Delta h_{\text{comp}}$
• Coefficient of Performance (COP):
COP=Q/Wcomp
The results obtained are presented comparatively in Table 2.

Table 2. Calculations based on temperature (60-80-100°C) and flow rate (0.01-0.02 kg/s).

Parameter	Temp.	For 0.01 kg/s	For 0.02 kg/s
The amount of heat transferred in the condenser: Q	60°C	1,5402	3,0804
	80°C	1,4001	2,8002
	100°C	1,0991	2,1982
Compressor power: $Wcomp$	60°C	0,149	0,298
	80°C	0,3359	0,6718
	100°C	0,7553	1,5106
COP	60°C	10,33	10,33
	80°C	4,16	4,16
	100°C	1,455	1,455

5. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

In this study, the numerical analyses performed on the condenser aimed to examine the thermal behavior and performance variation of the system under different inlet temperatures (60°C, 80°C, and 100°C) and two different mass flow rate values. The obtained results show that the system's coefficient of performance (COP) is highly sensitive to the inlet temperature.

According to the data obtained from the analyses, the COP value reached its highest level at an inlet temperature of 60°C and was calculated as approximately 10. This indicates that both the heat-carrying capacity of the fluid was used efficiently and the temperature difference on the condenser surface was at an optimum level. At this temperature, it was observed that the fluid cooled gradually and steadily along the pipe, meaning that the thermal energy was effectively transferred along the surface. Thus, the system exhibited both stable thermal behavior and achieved the most ideal operating point in terms of energy efficiency. In contrast, the COP value decreased to 4.16 at 80°C inlet temperature and to 1.7 at 100°C. These values show that the efficiency of the system decreases significantly at high inlet temperatures. At high temperatures, it was determined that the fluid initially lost heat rapidly and reached almost the outlet temperature before progressing along the pipe. This caused intense heat transfer to occur only in the first section of the pipe, while in the remaining regions, the heat transfer approached cessation due to the very low temperature difference. Especially at 80°C and 100°C temperatures, it was observed that the substance reached a stable temperature before arriving at approximately half of the pipe and reached the same level as the outlet temperature. This behavior means that a large portion of the potential heat transfer surface along the condenser was not effectively used. Therefore, both the heat transfer performance and the overall COP value of the system decreased significantly. The thermal distributions also revealed that the wall temperature was higher in the inlet region and decreased along the pipe due to the reduction of the temperature difference. This behavior shows that the heat transfer performance of the condenser is directly dependent on the inlet temperature, heat flux variations, and flow dynamics. In general, it was concluded that medium-level inlet temperatures provide the most efficient operating point in classical-type condensers, while excessively high inlet temperatures cause both thermal instability and a significant decrease in energy efficiency. Therefore, selecting the optimum inlet temperature in heat pump design and in determining operating conditions is of great importance. In addition, this study presents a solid basis for future design improvements by revealing the effect of condenser geometry and operating conditions on performance. It is predicted that the system efficiency can be further increased by optimizing geometric parameters such as fin angle, tube arrangement, and surface area.

6. REFERENCES

[1] Masternak, C., Meunier, S., Reinbold, V., Saelens, D., Marchand, C., & Leroy, Y. (2024). Potential of air-source heat pumps to reduce environmental impacts in 18 European countries. Energy, 292, 130487.

[2] Zheng, Z., Zhou, J., Xu, F., Zhang, R., & Deng, G. (2022). Integrated operation of PV assisted ground source heat pump and air source heat pump system: Performance analysis and economic optimization. Energy Conversion and Management, 269, 116091.

[3] Meng, X., Zhou, X., & Li, Z. (2024). Review of the Coupled System of Solar and Air Source Heat Pump. Energies, 17(23), 6045.

[4] Hu, W., Zhao, Y., Zhang, X., & Wang, D. (2025). Structural optimization of refrigerant flow channels in a microchannel evaporator flat tube to enhance heat transfer performance. Applied Thermal Engineering, 128440.

[5] Irannezhad, N., Rossetto, L., & Diani, A. (2025). Optimization considerations in the design of shell and tube condensers implementing enhanced tubes: Experimental and theoretical analysis. Applied Thermal Engineering, 273, 126408.

[6] Korde, V. M., Dekate, S. N., Bais, Y. A., & Raut, C. P. (2022, November). Design and Optimization of an Evaporative Condenser: A Detailed Review. In Advances in Manufacturing Technology and Management: Proceedings of 6th International Conference on Advanced Production and Industrial Engineering (ICAPIE)—2021 (pp. 360-371). Singapore: Springer Nature Singapore.

[7] Sezen, K. (2023). Influence of airflow rates on air source heat pump operating parameters. Applied Thermal Engineering, 233, 121123.

[8] Ishaque, S., Siddiqui, M. I. H., & Kim, M. H. (2020). Effect of heat exchanger design on seasonal performance of heat pump systems. International Journal of Heat and Mass Transfer, 151, 119404.

[9] Sehobai, S. E. (2024). Numerical analysis of the thermal performance of vapour compression heat pump heat exchanger using Python and computational fluids dynamics (CFD).

[10] Beigzadeh, R., Soltanian, S., & Tofangchi, D. (2025). Enhancing heat transfer efficiency in heat exchangers: A fusion of computational fluid dynamics and genetic algorithm for circular baffle optimization. International Journal of Heat and Fluid Flow, 112, 109726.

[11] Jegede, E. O., Fayomi, O. S., & Azubuike, U. G. (2024, November). Thermodynamic Performance Enhancement in Thermal Systems: A Review of Energy, Exergy, and Computational Fluid Dynamics Analyses. In 2024 IEEE 5th International Conference on Electro-Computing Technologies for Humanity (NIGERCON) (pp. 1-5). IEEE.

[12] Tung, S. D. (2020). Heat pumps for sustainable heating and cooling.

[13] de Paula, C. H., Duarte, W. M., Rocha, T. T. M., de Oliveira, R. N., & Maia, A. A. T. (2020). Optimal design and environmental, energy and exergy analysis of a vapor compression refrigeration system using R290, R1234yf, and R744 as alternatives to replace R134a. International Journal of Refrigeration, 113, 10-20.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ESNEK İKİ UZUVLU DÜZLEMSEL MANİPÜLATÖRÜN KİNEMATİK VE DİNAMİK ANALİZİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Suat KOÇ
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
suattkcc58@gmail.com - 0009-0001-0081-8297

Doç. Dr. Semiha BULUT
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
sbulut@cumhuriyet.edu.tr -ORCID ID: 0000-0001-8142-876X

ÖZET

Robotlar, kendi kendine (otonom) veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektromekanik araçlardır. İnsanoğlunun kendine yardımcı olması için araçları geliştirme çabası kendine benzer cihazları yapmaya sevk etmiştir. Bu çalışmada esnek iki uzuvlu düzlemsel manipülatörün dinamik ve kinematik davranışları incelenmiştir. Esnek malzeme olarak içi dolu karbonfiber çubuklar kullanılmıştır. Projenin modeli yapılmıştır. Modelde 5 adet servo motor kullanılarak manipülatör hareket ettirilmiştir. Model 100 g yük altında hareket ettirilmiştir. Model üzerinde iki manipülatör koluna sensör sabitlenmiştir. Sensörler kolların hızını ve ivmesini ölçmüştür. Buradan alınan verilerle MATLAB programı ile analizi yapılmıştır. Bu verilerle hız ve ivme grafikleri çizilmiştir. Çıkan sonuçlara göre ANSYS programı ile statik ve dinamik (transient) analizi yapılmıştır. Manipülatörün hızı, ivmesi, toplam deformasyonu, eşdeğer gerilmeleri ve güvenlik katsayısı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Manipülatör, Esnek Malzeme, Karbonfiber, Dinamik Analiz

1. ROBOTUN TANIMI

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Robotlar, kendi kendine (otonom) veya önceden programlanmış görevleri yerine getirebilen elektro mekanik araçlardır. İnsanoğlunun kendine yardımcı olması için araçları geliştirme çabası kendine benzer cihazları yapmaya sevk etmiştir. Robotikle ilgili bilinen en eski yazılı kayıt 1153-1233 yılları arasında Anadolu'da yaşamış bilim adamı Cezeri'ye aittir. İlerleyen yıllarda bu alanda çalışmalar olsa da asıl gelişme 20.yy. da görülmüştür. Bu yıllarda robotlar hayatımıza dokuma tezgahlarında yardımcı iş makineleri olarak girmiştir. Robotların icadı ile birlikte seri üretimler başlamış, kısa sürede çok ürün az maliyetli bir şekilde elde edilmiştir

1.1 Robotların Sınıflandırılması

Robotlar eklem yapılarına, kullanım alanlarına, işlevsel özelliklerine, kontrol yöntemlerine ve çalışma prensiplerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bunlar; endüstriyel ve mobil robotlardır.

1.1.1 Endüstriyel robotlar

ISO 8373 tarafından belirlenen özelliklerine göre bir endüstriyel robot "üç veya daha fazla programlanabilir ekseni olan, otomatik kontrollü, programlanabilir, çok amaçlı, bir yerde sabit duran veya tekerlekleri olan endüstriyel uygulamalarda kullanılan manipülatör" şeklinde tanımlanmaktadır.

1.1.2 Mobil robotlar

Endüstriyel robotlar bilindiği üzere tanımlanmış sınırlı alanlarda çalışabilen, sürekli aynı işleri tekrarlayan sistemler olarak vardır. Günümüzde yenilenen teknolojiler bu yapıların daha etkin çalışmasını sağlamakla birlikte kendi alanlarının dışına çıkmasını ve kendi kendine karar verme yeteneklerine sahip, hareket kabiliyetleri yüksek mobil robotların gelişmesini sağlamıştır. Mobil robotlar; insansı (humanoid) robotlar, çoklu robotlar, sürü robotları, mikro-nano robotlar, biyo-ilhamlı robotlar, işbirlikçi robotlar ve duyargalar gibi farklı alt türevleri vardır.

1.2 Robotların Parçaları

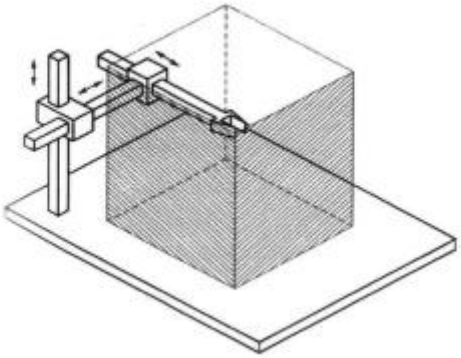
Bir robot genel olarak güç kaynağı, denetleyici ve manipülatörden oluşmaktadır. Güç kaynağı, denetleyici ve manipülatörün ihtiyaç duyduğu gücü sağlar. Denetleyici, robot sisteminin beynidir. Bilgileri depolar, parçalar arası bağlantıları sağlar ve sistemi denetler. Manipülatör, sistemin fiziksel olarak asıl işini yapan mekanik kısım ve kol olarak tabir edilen birbirine eklenmiş uzuvlardır.

1.3 Manipülatörlerin Sınıflandırılması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

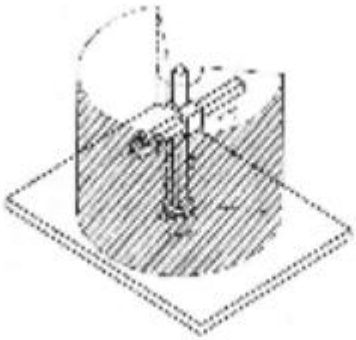
Manipülatörler çalışma uzaylarına göre sınıflandırılırlar. Aşağıda manipülatör yapıları ve bunların çalışma uzayları görülmektedir.

1.3.1 Kartezyen (Cartesian) manipülatör: Görsel 1' de gösterilen manipülatör üç tane kayar tip eklem ile elde edilir. Mekanik yönden çok sağlamdır fakat çalışma uzayındaki hareket yeteneği bakımından zayıftır. Bu tip manipülatörler çok büyük boyutlarda ve ağırlıklarda nesneleri hareket ettirmek ve taşımak için idealdir. Kartezyen manipülatörlerde eklemleri hareket ettiren motorlar çoğunlukla elektrik bazen de pnömatik motorlarıdır.



Görsel 1 Kartezyen manipülatör

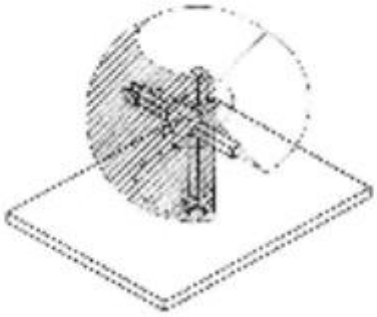
1.3.2 Silindirik (Cylindirical) manipülatör: Bu tip bir manipülatör bir tane döner ve iki tane kayar tip eklem ile elde edilir. Görsel 2' de gösterilen manipülatör mekanik yönden sağlamdır fakat bilek konum doğruluğu (accuracy) yatay harekete bağlı olarak azalır. Benzer şekilde büyük boyutlu nesnelerin taşınmasında kullanılırlar. Bu tip manipülatörlerde hidrolik motorları tercih edilir.



Görsel 2 Silindirik Manipülatör

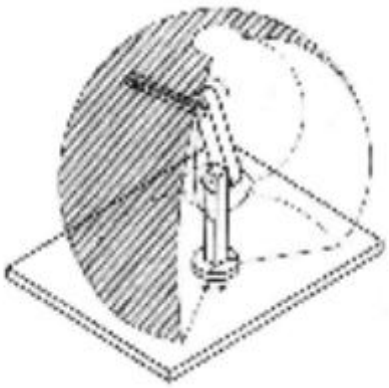
1.3.3 Küresel (Spherical) manipülatör: Bu manipülatör iki tane döner ve bir tane kayar tip eklem ile elde edilir. Bu tip manipülatörler mekanik yönden diğer iki tipten daha zayıf,

mekanik yapı yönünden daha karmaşıktır. Çoğunlukla makine montajlarında kullanılırlar. Aşağıdaki görselde gösterilen bu manipülatör elektrik motorlarında tercih edilir.



Görsel 3 Küresel Manipülatör

1.3.4 Eklemli (Articulated) - İnsan kolu (Anthrophomorphic) manipülatör: İnsan kol yapısı esas alındığı için bu isim verilmiştir. Bu tip manipülatörler tüm eklemleri döner olduğundan çalışma uzaylarında en yetenekli manipülatörlerdir. Endüstriyel uygulamalarda geniş kullanım alanına sahiptirler (boyama, kaynak yapma, montaj, yüzey temizleme vb.). Bu tip manipülatörler de elektrik motorları tercih edilir. Manipülatör görsel 4'te gösterilmiştir.



Görsel 4 Eklemli-İnsan Kolu Manipülatör

2. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Görsel 5'te gösterilen manipülatör karbonfiber çubuklar kullanılarak 2 uzuvlu olarak tasarlanmıştır. Birinci uzvun uzunluğu 200 mm, çapı 20 mm, ağırlığı 100 gr'dir. İkinci uzvun

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

uzunluğu 150 mm, çapı 20 mm, ağırlığı 70 gr'dir Bu projede 5 adet servo motor manipülatörün hareket etmesini sağlar. Tabanda bulunan servo motor ile manipülatör 360 derece dönmektedir. Tabana bağlı olan birinci karbonfiber malzemeden yapılmış kolu 2 adet servo motor yaklaşık 110 derece dönecek şekilde hareket ettirir. Birinci ve ikinci kol arasında bulunan servo motor ise 360 derece dönecek şekilde konumlandırılmış olup ikinci kolu hareket ettirmektedir. İkinci kolun uç kısmında tutucu parça yine bir adet servo motordan hareketini alır. Tutucunun malzemesi PLA'dır. Manipülatörün kontrolü 4 adet iki eksenli joystick, arduino ve motor sürücü ile sağlanır. Birinci ve ikinci kollara bağlanan ivme ölçer ile manipülatörün açısal hızı ve açısal ivmesi incelenmiştir. Manipülatöre 5 v 2 a güç kaynağı bağlanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 5 Esnek iki kollu manipülatör

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2. ANALİZ

2.1 Matlab Analizi

100 g Yük Altında Birinci ve İkinci Kolun Açısal Hız ve Açısal İvme Değerleri

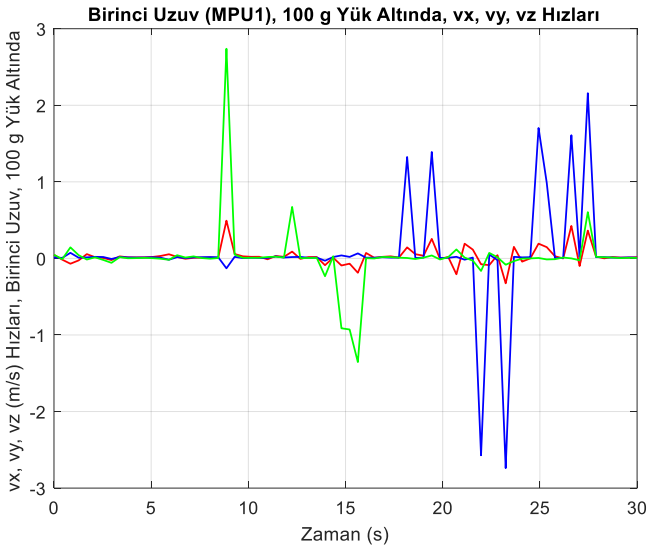
Birinci Uzuv (MPU1): Ortalama Açısal İvme, α_1=9.6 rad/s^2,

Ortalama Açısal Hız, ω_1=1.6947 rad/s

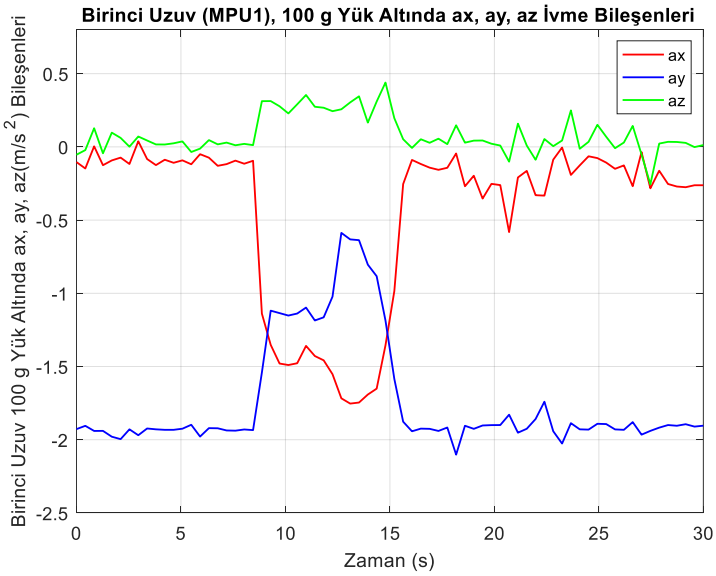
İkinci Uzuv (MPU2): Ortalama Açısal İvme, α_2=10.1123 rad/s^2,

Ortalama Açısal Hız, ω_2=5.2264 rad/s

Çizelge 1 Birinci uzvun hız bileşenleri

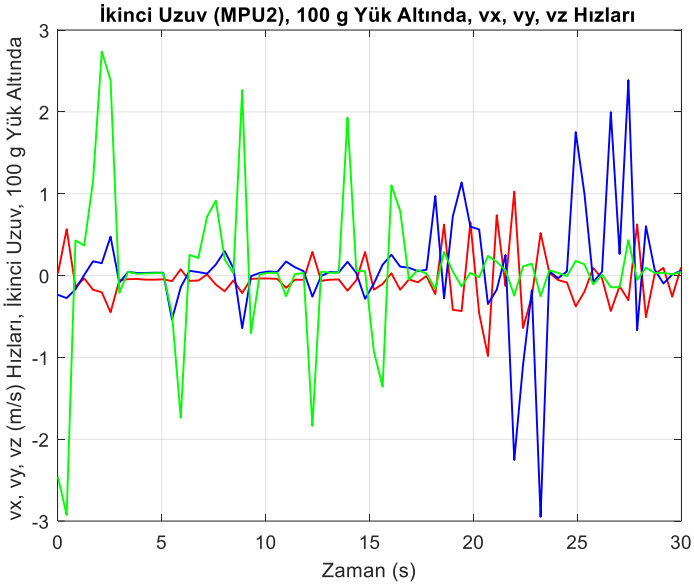


Çizelge 2 Birinci uzvun ivme bileşenleri

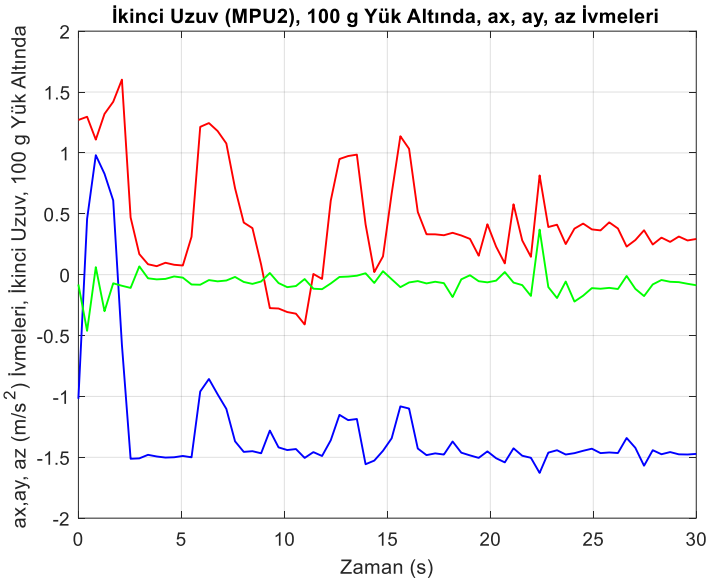


ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 3 İkinci uzvun hız bileşenleri



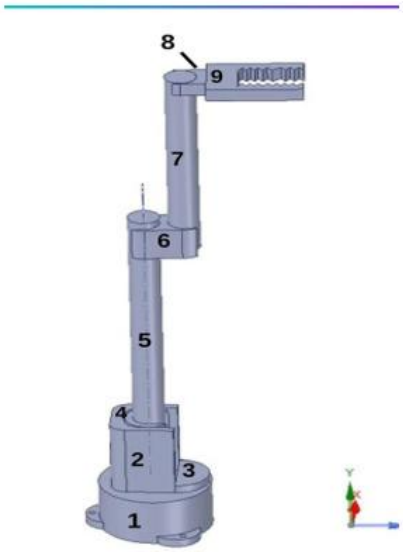
Çizelge 4 İkinci uzvun ivme bileşenleri



2.2 ANSYS Analizi

Manipülatör ANSYS programında 1 N yük altında statik analizi incelenmiştir. Yine aynı yüklerde MATLAB programından analiz edilerek elde edilen ortalama açısal hızlar ile manipülatörün hareketi de incelenmiştir. Manipülatör 9 parça olarak yapılmıştır. Bu parçaların adları ve malzemesi Görsel 6'da gösterilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

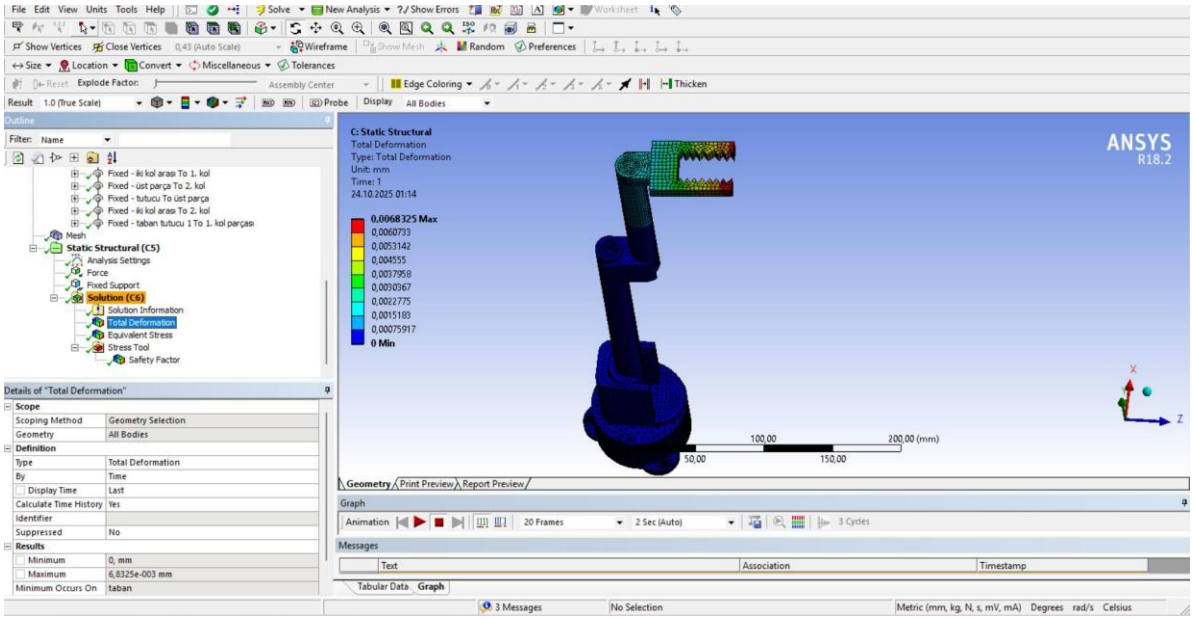


Parça Numarası	Parça Adı	Parça Malzemesi
1	Taban	PLA
2	Taban Tutucu 1	Polietilen
3	Taban Tutucu 2	Polietilen
4	1. Kol Parçası	Polietilen
5	1. Kol	Karbonfiber
6	İki Kol Arası	Polietilen
7	2. Kol	Karbonfiber
8	Üst Parça	Polietilen
9	Tutucu	PLA

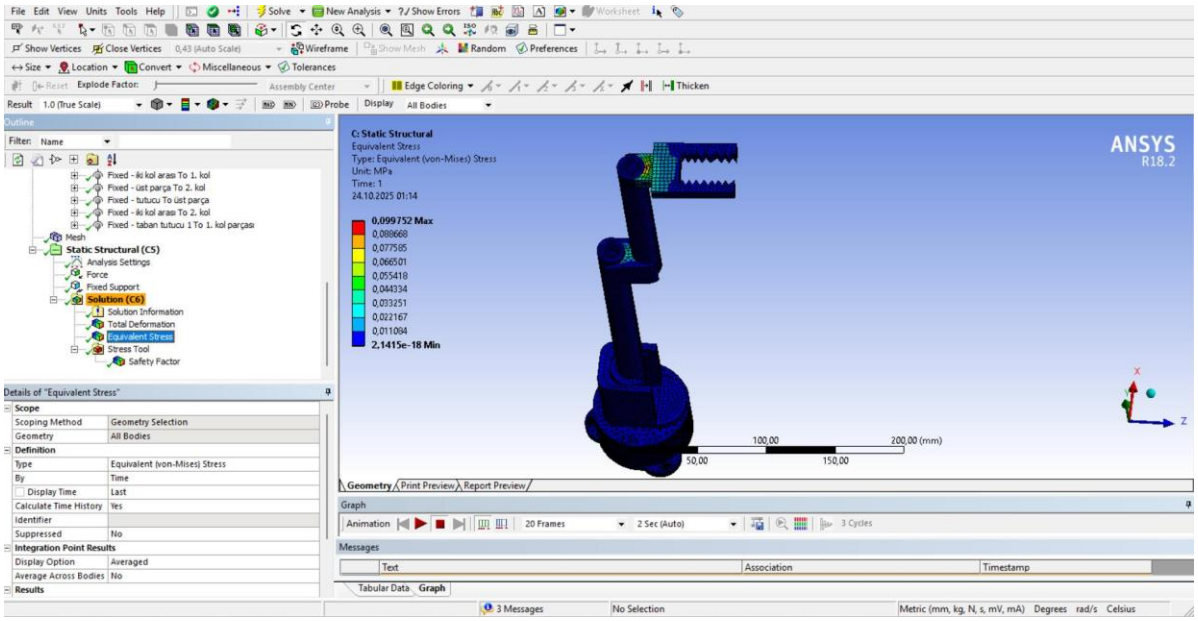
Görsel 6 Manipülatör Parçaları

2.2.1 N Yük Altında Statik Analizi

Manipülatörün tutucu kısmından 1 N yük uygulanarak analiz çözümlenmiştir. Görsel 7'de gösterilen renk skalasında mavi renk en az deformasyon olan bölgeyi gösterirken kırmızı renk ise en fazla deformasyonu gösterir. Bu analizde maksimum deformasyon 0.0068 mm ile tutucu parçasında meydana gelirken taban parçasında bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Görsel 8'de gösterilen eşdeğer gerilme sonucuna göre en çok gerilme üst parçada 0.099 Mpa olarak ortaya çıkmıştır.



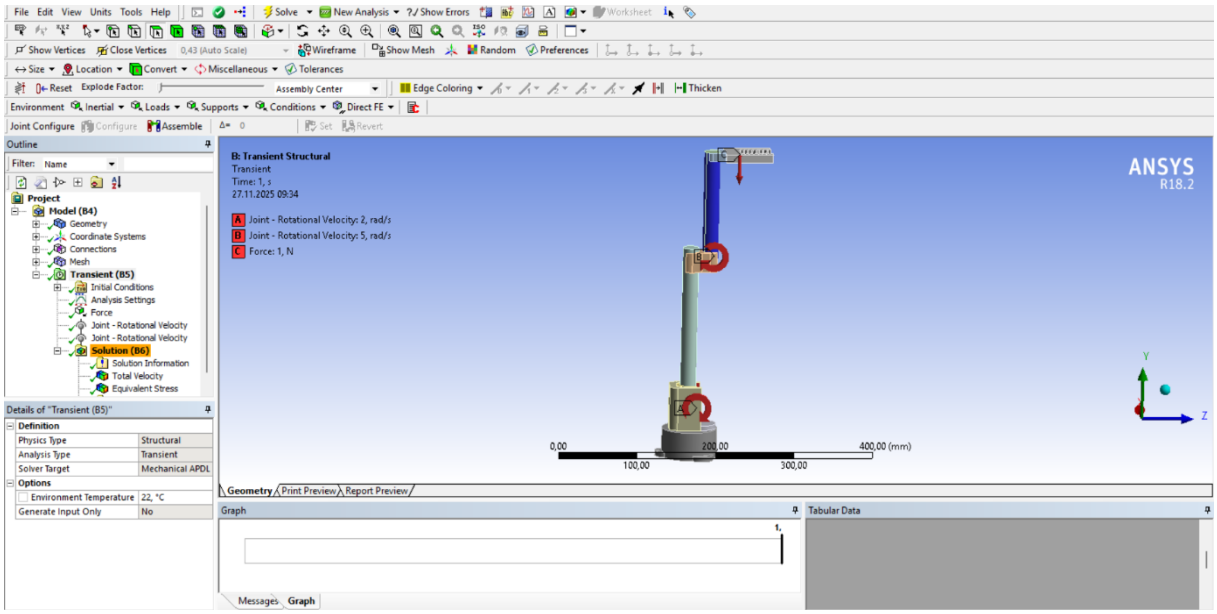
Görsel 7 1 N Yük Altında Manipülatörün Toplam Deformasyon Analiz Sonucu



Görsel 8 1 N Yük Altında Manipülatörün Eşdeğer Gerilmeler Analiz Sonucu

2.2.2 Dinamik Analiz (Transient Analiz)

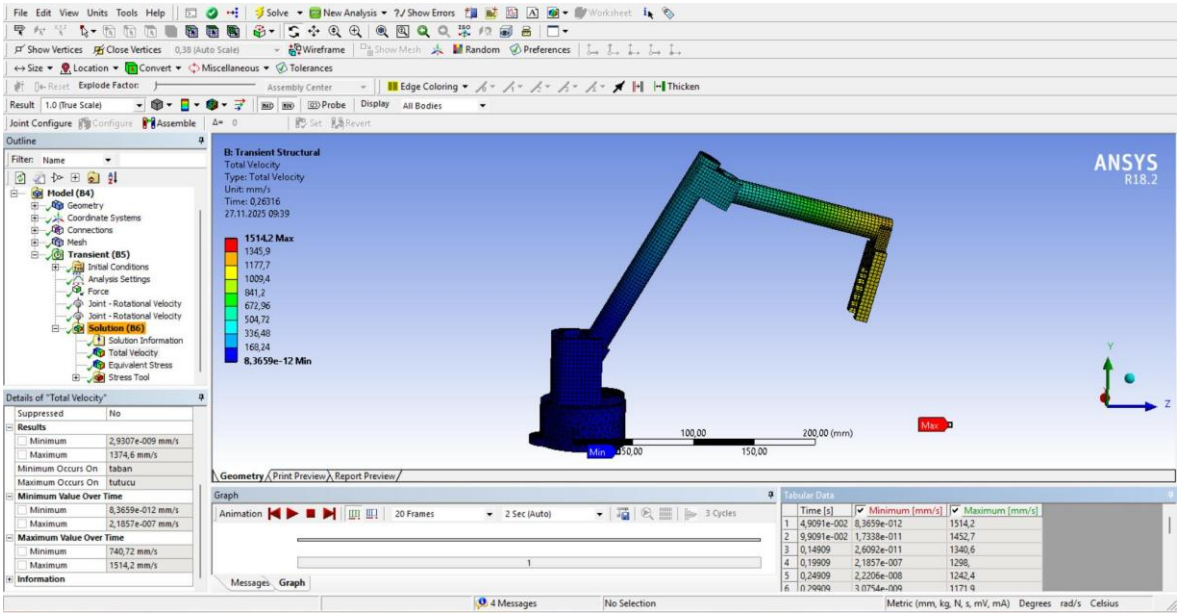
Bu analiz türünde manipülatörün hareket halinde iken tutucuya 1 N yük uygulayarak toplam hızına, eşdeğer gerilmelerine ve güvenlik katsayısına bakılmıştır. Bunlara ek olarak MATLAB analizinden gelen sonuçlara göre 1. kol ve 2. kola açısal hız verilerek analiz yapılmıştır. Görsel 9'da görüldüğü gibi 1. kola 2 rad/s , 2. kola 5 rad/s hız değerleri girilmiştir. Bu analiz türü hareketli olduğu için toplam deformasyon sonucuna bakılmamıştır.



Görsel 9 Analiz Parametreleri

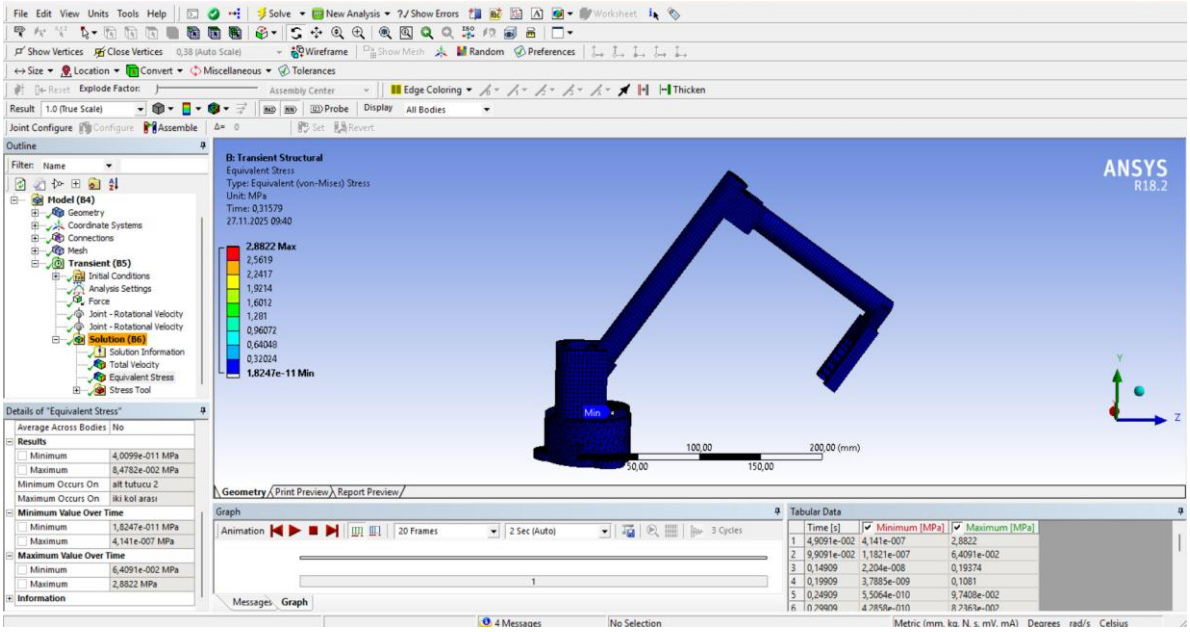
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Bu analizde uygulanan yük yine 1 N' dur. Manipülatörün 1. Kolun hızı aynı tutulup 2. Kolun hızı 5 rad/s olarak güncellenmiştir. Bu parametrelerle yapılan çözümlemede toplam hız değişimi en yüksek 1415,2 mm/s ile tutucu parçasında meydana gelmiştir. Analiz sonucu görsel 10'da verilmiştir. Eşdeğer gerilme görsel 11' den okunduğu üzere 2,882 Mpa olup iki kol arasındaki parçada gözlemlenmiştir. Bu parametreler ile manipülatörün güvenlik katsayısı 8.67 çıkmıştır.

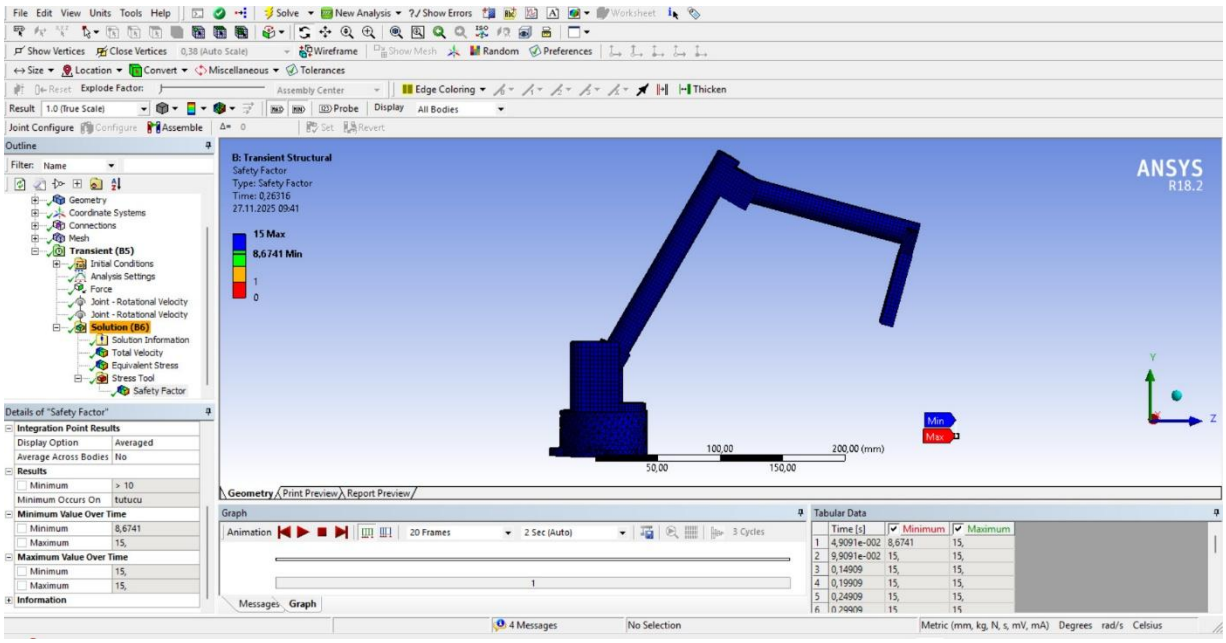


Görsel 10 5rad/s Hız ile Toplam Hız Analizi

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 11 5 rad/s Hız ile Dinamik Analizde Eşdeğer Gerilmeler



Görsel 12 5 rad/s Hızda Manipülatörün Güvenlik Katsayısı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada esnek iki kollu manipülatörlerin dinamik ve kinematik analizi incelenmiştir. Ana malzemeler karbonfiber seçilip diğer malzemeler PLA ve polietilenden oluşmaktadır. Manipülatörün modellemesi yapılmış olup 100 g yük ile çalıştırılmıştır. Manipülatör aynı zamanda Solidworks programıyla bire bir ölçülerle çizilip Ansys programında gerekli sınır şartları oluşturularak statik ve dinamik (transient) analizleri gerçekleştirilmiştir. Manipülatörün her iki koluna da bağlanan jiroskoplar ile hız ve ivme verileri elde edilmiştir. Veriler 30 saniye boyunca manipülatörün aşağı yukarı ve sağa sola hareket ettirilerek toplanmıştır. Elde edilen bu veriler Matlab programıyla analiz edilerek ortalama hız ve ortalama ivme değerleri çizilen grafiklerden elde edilmiştir. Yine bu veriler Ansys ile yapılan transient analizde kullanılmıştır.

Matlab analizi için manipülatör 30 saniye 100 g yük ile hareket ettirilerek alınan veriler kullanılmıştır. Birinci kolun ortalama açısal ivmesi 9,6 rad/s^2, ortalama açısal hızı 1,6947 rad/s olduğu gözlemlenmiştir. İkinci kolun ortalama açısal ivmesi 10,1123 rad/s^2, ortalama açısal hızı 5,2264 rad/s çıkmıştır.

Ansys analizi için model parçaları gerçek malzeme değerleri girilmiştir. Parçalar arası bağlantılar girildi (Contact). Model elemanlara ayrıldı (mesh işlemi). Daha sonra kuvvet ve hızlar girilerek analiz yapıldı. Statik analizde 100 g yük ile 0,0068 mm deformasyon ve 0,099 MPa gerilme çıkmıştır. Hareket halinde analiz için transient analiz seçilmiştir. Transient analizde manipülatör hareket ettirildiği için deformasyona bakılmamıştır. Kuvvet ve hızlar girilerek toplam hız, eşdeğer gerilmeler ve güvenlik katsayısına bakılmıştır. Burada toplam hız bir cismin herhangi bir andaki tüm hız bileşenlerinin büyüklüğünü ifade eder. Cismin dönme ve ötelenme hareketlerinden kaynaklanan toplam hızını gösterir. Analizde bakılmasının amacı hızın zamana göre değişimini görmek içindir. Maksimum hızda sistemin kritik anlarını gösterir. Burada 1 N kuvvette toplam hız maksimum 2291,6 mm/s , eşdeğer gerilme maksimum 0,0935 MPa çıkmıştır.

Güvenlik katsayısı , mühendislik ve tasarımda kullanılan ve bir yapı veya bileşenin normal kullanım sırasında maruz kalacağı beklenen veya gerçek yüklerin ötesinde yük taşıma kapasitesini temsil eden bir terimdir. Sistemin veya yapının güvenilir olmasını ve öngörülen çalışma koşullarından daha fazlasına dayanabilmesini sağlamayı amaçlar. Dinamik yüklerde yorulma veya döngüsel yüklemeye maruz kalan bileşenler (örneğin dönen makineler veya titreşimli ekipmanlar) için, emniyet faktörü zaman içinde yorulma hasarı olasılığını hesaba

katmalıdır. Bu durumlarda, hesaplamalarda malzemenin dayanıklılık sınırı veya yorulma mukavemeti kullanılabilir; bu, genellikle yorulma davranışının karmaşıklığı nedeniyle daha yüksek bir emniyet marjıyla yapılır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Statik analizde en yüksek deformasyon tutucuda gözlemlenirken en yüksek gerilme üst parçada meydana gelmiştir. Dinamik analizde hız en yüksek tutucuda okunurken eşdeğer gerilmenin en yüksek çıktığı parça yine iki kol arasıdır.

Tüm analiz sonuçlarına bakılarak esnek malzeme olarak seçilen karbonfiber kollarda diğer parçalara göre daha az gerilme ve deformasyon gözlemlenmiştir.

Analiz sonuçlarının tamamında güvenlik katsayısı en az 8,674 çıkarak modelin güvenliğini kanıtlamıştır.

KAYNAKÇA

E. Abedi, A. Ahmadi Nadooshan, and S. Salehi (2008). Dynamic Modeling of Tow Flexible Link Manipulators.

Telli, S (2000). Esnek uzuvlu bir manipülatörün dinamik davranışının analizi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi), Bursa.

Danışmaz, M (2008). İki eklemli robot kolunun dinamik analizinin yapılması. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Sivas.

Uyar, E., Yavuz, E., Candan, M., Akçura, N. (2015). “Düzlemsel Elektro-Pnömatik Manipülatör Tasarımı ve Kontrolü,” Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 662, s. 56-62.

Gürgüze ve Türkoğlu (2018). Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 31(1), 53-66, 2019

Url-1 <https://www.tlsrobotik.com/> , alındığı tarih: 30.06.2025

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF THE EFFECTS OF TOOL NOSE RADIUS ON ENERGY CONSUMPTION AND TOOL VIBRATION FOR ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MANUFACTURING

Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU

Manisa Celal Bayar University, Technical Sciences Vocational School,

Department of Machinery and Metal Technologies

abidinsahinoglu@gmail.com

ORCID /0000-0003-0040-442X

ABSTRACT

The increasing number of machines and decreasing energy resources have made the efficient use of energy a necessity. A large part of energy consumption belongs to the industrial sector. Energy consumption is a significant problem not only in the production phase but also in the operation of the machines. Reducing energy consumption depends on producing workpieces with high surface quality. Low surface roughness, which is an important indicator of surface quality, is of great importance. In addition, energy efficiency is of great importance in the machining process of the workpiece. Cutting conditions have a significant effect on tool vibration and energy consumption. In this experimental study, hardened AISI 52100 steel was machined at different tool radius, different cutting speeds, different feed rates, and different depths of cut. Variance analysis of the experimental results was performed. According to the ANOVA results, feed rate and depth of cut are the most effective parameters on the tool vibration. Energy consumption decreases with increasing feed rate, depth of cut, and cutting speed. Increasing the tool radius slightly increases energy consumption. Predictive models were created using the obtained regression equations. Finally, optimum cutting conditions were determined for the lowest vibration value and the lowest energy consumption.

Keywords: environmentally friendly manufacturing, vibration, regression analysis, ANOVA

1. INTRODUCTION

As the hardness of materials increases, their yield and tensile strength increase. They wear less easily and have a longer service life. Therefore, there is no need to produce a new machine. Existing machines can be used for a longer time. Less raw material is needed. There is no need for extra energy to process raw materials. Many studies have been conducted on hard turning in recent years[1]–[8]. The carbon footprint associated with production does not increase. Therefore, the damage to the environment is reduced. It is necessary to minimize environmental damage in production. Because the speed and quantity of production continue to increase. The increasing population increases machine production. Long-lasting machines are indispensable for environmentally friendly manufacturing. Moreover, their use increases the chance of competition. The fact that machines wear less easily reduces maintenance costs. It reduces downtime due to machine use. The most indispensable element of environmentally friendly

manufacturing is vibration. Many important studies have been conducted on vibration[9]–[14]. If vibration increases, surface quality deteriorates. Vibration accelerates tool wear. Vibration causes microstructure deterioration on the surface. Vibration causes damage to machine tools during production. It causes wear in bearings and spindles in machine tools. Wear causes heat, heat causes expansion, and expansion causes increased friction. Vibration is an undesirable condition. Vibration is inherent in machining. However, the occurrence of vibration leads to further vibration in subsequent machining. Increased vibration, if not prevented, leads to workpiece deterioration, tool wear, and an increase in carbon footprint. Forced vibrations are present in machining. However, an increase in vibration amplitude leads to energy loss. This study outlines optimum conditions for reducing vibration.

Vibration affects the quality of the workpiece after production and the lifespan of the tool and machine tool during production[15]–[17]. Energy consumption is an indispensable parameter for environmentally friendly manufacturing during production. Energy consumption means increased fossil fuel use. Fossil fuel reserves are limited. The use of fossil fuels releases a large amount of harmful gases. The manufacturing industry is dependent on the use of fossil fuels. Therefore, environmentally friendly manufacturing is achieved by improving the quality of production and reducing the energy used during production. In this study, the concept of energy consumption during production is examined simultaneously. Numerous important studies on energy consumption have made significant contributions to the literature[18], [19], [19]–[25].

A review of the literature reveals numerous studies on vibration and energy consumption. Furthermore, many significant studies have been conducted recently regarding the increasing use of hard turning. Both vibration and energy consumption have been examined together. ANOVA analysis was performed. Regression equations were formulated. These regression equations were found to have high accuracy. The regression equations were tested. Experimental results were compared with the regression equations. Many successful studies have contributed to the literature and industrial production. The concepts of energy consumption and instantaneous power consumption have been explained. The concepts of wear and cutting force have been explained. Wear and energy consumption have been examined. Wear and cutting force have been investigated. The concepts of wear and vibration have been examined. In this experimental study, studies conducted with different cutting parameters have been validated. The aim was to create simpler mathematical equations. The concepts of energy and vibration have been explained. The presence of different ANOVA ratios in the literature has been explained. Additionally, evaluations regarding optimum cutting conditions have been made.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this experimental study, AISI 52100 steel was machined due to its widespread use. It is anticipated that the use of this steel will become more common. AISI 52100 is an easily hardened steel. It is widely used in the bearing industry[8], [26]–[30]. In the future, the need to reduce friction and wear resistance will increase. Therefore, working on bearing steels is important. For longer-lasting machine parts, heat treatment was performed to achieve a hardness of 49 HRC. Sintered carbide was preferred for economical machining. DCMT 11 T

308 and DCMT 11 T 304 tools were used. Since hard turning is a final process, low depth of cut and low feed rate are desired. Small tool radii were preferred for low depth of cut and low feed rate. Feed rate and depth of cut should be higher relative to the tool radius. However, tool strength does not allow this. Also, sintered carbide tools wear quickly when machining hard materials. High-quality sintered tools can machine hard steels within a certain range. Therefore, the goal is to reduce tool wear with coated carbide tools. High cutting speeds are designed to allow for easy chip flow. Thus, different tool radii, low feed rates, low depth of cut, and high cutting speeds are preferred.

The clamping between the center and the chuck is determined according to the diameter and length ratio of the workpiece. The workpiece diameter is 48 mm. A lower diameter causes the workpiece to flex in the middle. This flexing increases vibration. Therefore, rigid clamping of the workpiece is desired. For rigid clamping, the center pressure can be increased slightly. However, the workpiece diameter must be suitable for this. Materials with smaller workpiece diameters are subjected to flexing at high pressure. This flexing increases vibration. Furthermore, increased flexing causes dynamic fatigue. It causes the workpiece to collide with the tool. Ripples on the workpiece surface gradually increase vibrations. Increased vibration creates resonance. Therefore, an appropriate center pressure is preferred. Also, long tool clamping causes deflection. The distance between the tool-holding bolt and the tool tip has been reduced to 20 mm. Long tool clamping is undesirable.

In these machining experiments, 2 different tool radius lengths, 2 different depths of cut, 2 different cutting speeds, and 2 different feed rates were used. Since there were 4 different inputs, the number of levels was kept low. To minimize the number of experiments, the factor levels were set to 2.

3. RESULTS AND EVALUATION

Analysis of variance was performed based on the results of the machining experiments. The effect ratios of cutting conditions on vibration and energy consumption were compared.

According to the coded coefficients, a x Re is 0.079, f x Re is 0.104, and VxRe is 0.691, so it is not significant. Since a is -87.64, f is -61.44, and v is -71.19, it has a negative effect. Re has a positive effect of 5.75 on energy consumption. This is shown in Table 1.

Table1. Coded Coefficients for Energy

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	11760,0	29,1	403,88	0,000	
a	-2552,6	29,1	-87,67	0,000	1,00
f	-1789,1	29,1	-61,44	0,000	1,00
v	-2072,8	29,1	-71,19	0,000	1,00
Re	167,3	29,1	5,75	0,002	1,00
a *f	309,3	29,1	10,62	0,000	1,00
a *v	484,7	29,1	16,65	0,000	1,00

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

a *Re	-64,0	29,1	-2,20	0,079	1,00
f *v	360,1	29,1	12,37	0,000	1,00
f *Re	-57,7	29,1	-1,98	0,104	1,00
v *Re	-12,3	29,1	-0,42	0,691	1,00

Model Summary, In the equation, R2 = 99.97%. The estimated model R2 = 99.70%. R2 (adj) = 99.91%

In terms of energy consumption, depth of cut is 44.90%, cutting speed is 29.60%, and feed rate is 22.05%. Time is also a factor in energy consumption. If the cutting parameters increase, energy consumption decreases. The machine tool is used more efficiently.

Table 2. Analysis of Variance for Energy

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% Cont
Model	10	232144861	23214486	1711,26	0,000	99,97
Linear	4	224658936	56164734	4140,20	0,000	96,75
a	1	104255727	104255727	7685,24	0,000	44,90
f	1	51211900	51211900	3775,10	0,000	22,05
v	1	68743299	68743299	5067,43	0,000	29,60
Re	1	448011	448011	33,03	0,002	0,19
2-Way Interaction	6	7485925	1247654	91,97	0,000	3,22
a *f	1	1530681	1530681	112,83	0,000	0,66
a *v	1	3759150	3759150	277,11	0,000	1,62
a *Re	1	65572	65572	4,83	0,079	0,03
f *v	1	2074795	2074795	152,94	0,000	0,89
f *Re	1	53310	53310	3,93	0,104	0,02
v *Re	1	2417	2417	0,18	0,691	0,00
Error	5	67829	13566			0,03
Total	15	232212690				100,00

Regression Equation in Uncoded Units,

*Energy=78360- 294312 a - 268183 f - 242,09 v + 4186 Re+ 618604 a *f + 775,5 a *v - 1280 3 a *Re+ 720,2 f *v - 14431 f *Re - 2,46 v *Re*

As shown in the figure, the depth of cut is 87.665, cutting speed is 71.185, and feed rate is 61.441, all having a specific effect. This value is not a percentage; it shows the effect of each parameter individually. The blue dots are below 2.57 and are not significant. Similar results regarding energy consumption have been seen in other studies as well[15]–[17].

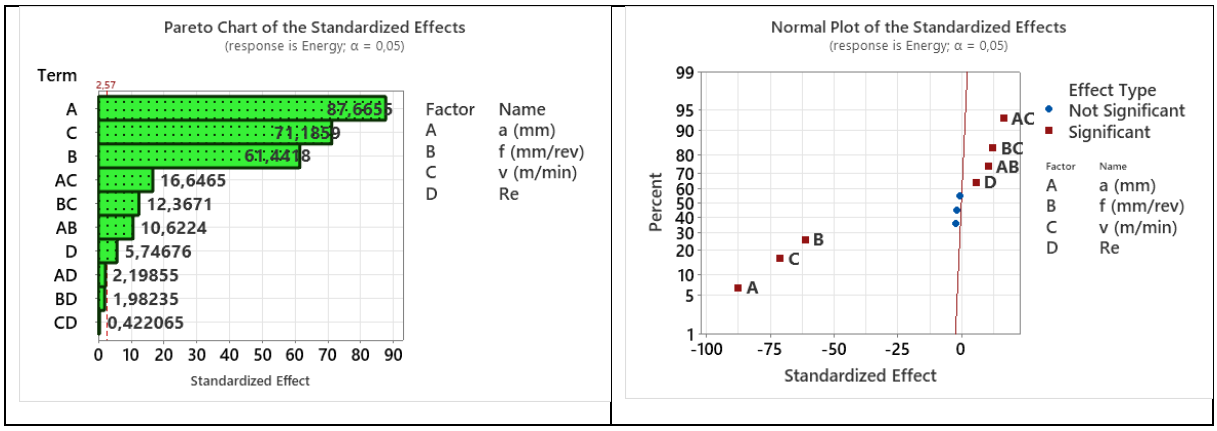


Figure 1 shows the effect of parameters on the energy equation

In vibration, the ratios a x f 0.351, a x V 0.917, a x Re 0.629, f x V 0.351, f x Re 0.160, V x Re 0.629 are above 0.05, so these parameters can be removed. Since there is a linear increase and decrease in 2-level equations, logarithmic expressions are irrelevant.

Table3. Coded Coefficients for vibration

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	5,0508	0,0213	237,18	0,000	
a	0,4367	0,0213	20,51	0,000	1,00
f	0,8547	0,0213	40,13	0,000	1,00
v	-0,2195	0,0213	-10,31	0,000	1,00
Re	-0,1297	0,0213	-6,09	0,002	1,00
a *f	0,0219	0,0213	1,03	0,351	1,00
a *v	-0,0023	0,0213	-0,11	0,917	1,00
a *Re	-0,0109	0,0213	-0,51	0,629	1,00
f *v	0,0219	0,0213	1,03	0,351	1,00
f *Re	-0,0352	0,0213	-1,65	0,160	1,00
v *Re	-0,0109	0,0213	-0,51	0,629	1,00

Model Summary for R2=99.77 %, R2 adj=99.31 %, R2 (pred)=97.66 % dir.

Table 4 shows the results of the variance analysis for vibration. The linear model has a significance of 99.97%. The linear model is significant because the graphs are linear under two-stage cutting conditions. Feed rate has a significance of 73.72%. Depth of cut has a significance of 19.25%. Increasing chip cross-section and cutting forces increase vibration. Similar results regarding vibration have been found in other studies as well[31].

Table 4. Analysis of Variance for Tool Vibration

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value	% Cont.
Model	10	15,8186	1,5819	218,01	0,000	99,77
Linear	4	15,7796	3,9449	543,69	0,000	99,53
a	1	3,0516	3,0516	420,57	0,000	19,25

f	1	11,6879	11,6879	1610,82	0,000	73,72
v	1	0,7711	0,7711	106,27	0,000	4,86
Re	1	0,2691	0,2691	37,09	0,002	1,70
2-Way Interaction	6	0,0390	0,0065	0,90	0,559	0,25
a *f	1	0,0077	0,0077	1,06	0,351	0,05
a *v	1	0,0001	0,0001	0,01	0,917	0,00
a *Re	1	0,0019	0,0019	0,26	0,629	0,01
f *v	1	0,0077	0,0077	1,06	0,351	0,05
f *Re	1	0,0198	0,0198	2,73	0,160	0,12
v *Re	1	0,0019	0,0019	0,26	0,629	0,01
Error	5	0,0363	0,0073			0,23
Total	15	15,8549				100,00

Regression Equation in Uncoded Units

*VibTool=0,71+ 14,61 a + 35,98 f - 0,01189 v + 0,92 Re+ 43,7 a *f - 0,0038 a *v - 2,19 a *Re + 0,0438 f *v - 8,79 f *Re - 0,00219 v *Re*

Figure 2 shows the parameter effects for vibration. a x Re, a x f, f x V, v x Re, a x Re, and a x V are statistically insignificant parameters on vibration. They can be removed from the equation. The single greatest effect is exerted by the feed rate.

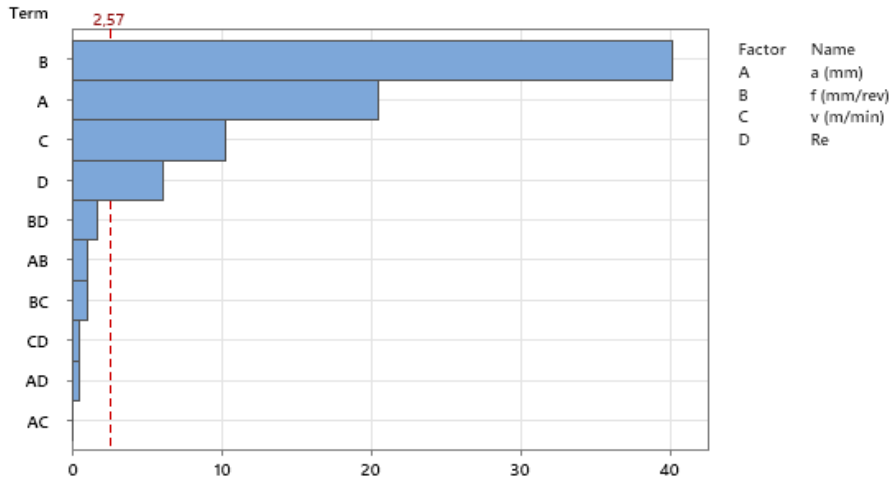


Figure 2. Importance of parameters for vibration

As shown in Figure 3, vibration increases with increasing depth of cut. The effect of tool tip radius is limited. Tool vibration decreases somewhat with increasing cutting speed. Energy consumption decreases with increasing depth of cut, feed rate, and speed. Therefore, the machine tool is used more efficiently.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

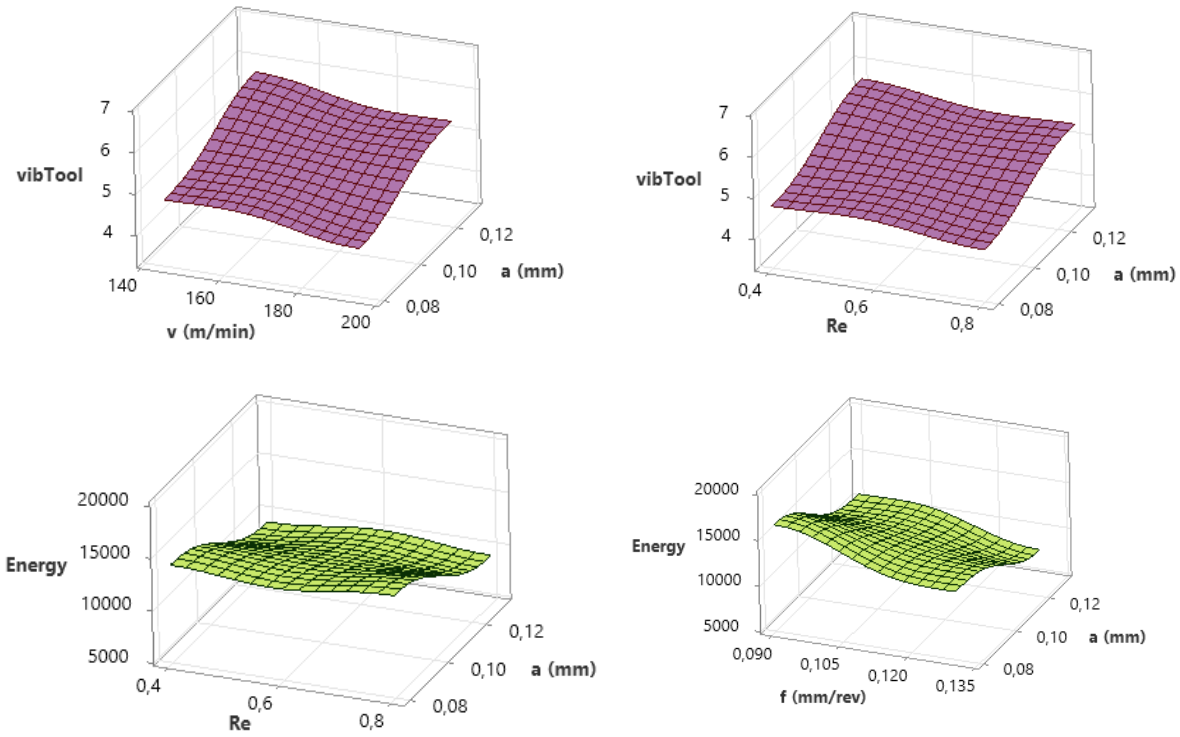


Figure 3. Effect of cutting conditions on vibration and energy consumption

Optimization shows that as cutting parameters increase, the vibration value increases. However, since the machining time is shortened, energy consumption decreases. Machining time is reduced. This ensures more efficient use of the machine. Therefore, the optimization results are shown in Figure 4.

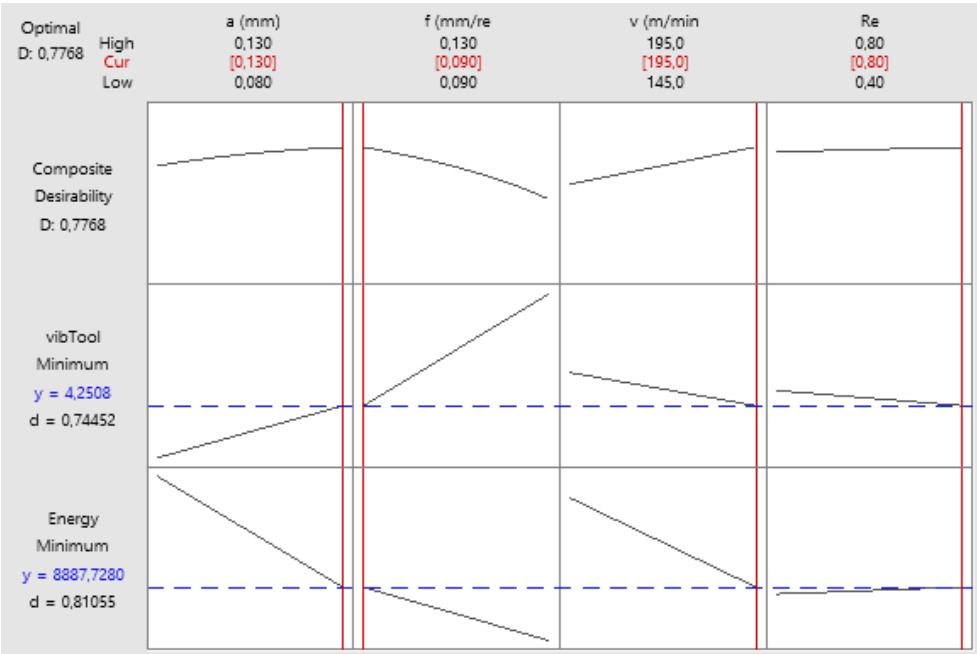


Figure 4. Multiple optimization for energy consumption and vibration

In this experimental study, optimum parameters were determined. It is shown in Figure 4. Minimum energy consumption will be selected to determine the optimum cutting parameters. Thus, the machine tool will be used more efficiently. Problems caused by energy consumption will be minimized. Increasing the cutting parameters is necessary for minimum energy consumption. Minimum vibration is important for the machine tool, workpiece and cutting tool. For this, the cutting parameters should be chosen low.

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

The results of the experimental study can be summarized as follows, both theoretically and experimentally:

Increasing depth of cut, cutting speed, and feed rate reduces machining time. When machining time is shortened, total energy consumption decreases. According to the coded coefficients, a x Re is 0.079, f x Re is 0.104, and VxRe is 0.691, so it is not significant. Since a is -87.64, f is -61.44, and v is -71.19, it has a negative effect. Re has a positive effect of 5.75 on energy consumption.

Depth of cut has a 44.90% effect on energy consumption, cutting speed 29.60%, and feed rate 22.05%. If the cutting parameters increase, energy consumption decreases. The machine tool is used more efficiently.

Depth of cut has an effect of 87.665, cutting speed 71.185, and feed rate 61.441 on energy consumption. This expression shows the effect of each parameter individually.

In vibration, the ratios a x f 0.351, a x V 0.917, a x Re 0.629, f x V 0.351, f x Re 0.160, V x Re 0.629 are above 0.05, so these parameters can be removed. Logarithmic expressions are irrelevant in 2-level models.

The linear model has 99.97% significance on vibration. Since the graphs are linear in two-level cutting conditions, a xa, f x f, v x v are not effective in the model. Feed rate has 73.72% significance. Depth of cut has 19.25% significance. Increasing chip cross-section and cutting forces increase vibration.

REFERENCES

[1] T. T. Nguyen, “An energy-efficient optimization of the hard turning using rotary tool,” *Neural Comput. Appl.*, vol. 33, no. 7, pp. 2621–2644, 2021, doi: 10.1007/s00521-020-05149-2.

[2] S. Makhfi, A. Dorbane, F. Harrou, and Y. Sun, “Prediction of Cutting Forces in Hard Turning Process Using Machine Learning Methods: A Case Study,” *J. Mater. Eng. Perform.*, vol. 33, no. September, pp. 9095–9111, 2023, doi: 10.1007/s11665-023-08555-4.

[3] S. Kumar *et al.*, “Hard turning of AISI D2 steel with cubic boron nitride cutting inserts,” *Mater. Today Proc.*, vol. 72, pp. 2002–2006, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2022.07.338.

[4] N. A. Özbek, “Effects of cryogenic treatment types on the performance of coated tungsten tools in the turning of AISI H11 steel,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 4, pp. 9442–9456, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.03.038.

[5] N. Ambhore, D. Kamble, and D. Agrawal, "Experimental Investigation of Induced Tool Vibration in Turning of Hardened AISI52100 Steel," *J. Vib. Eng. Technol.*, 2022, doi: 10.1007/s42417-022-00473-4.

[6] S. A. Khan *et al.*, "An in-depth analysis of tool wear mechanisms and surface integrity during high-speed hard turning of AISI D2 steel via novel inserts," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, pp. 4013–4028, 2022, doi: 10.1007/s00170-022-10151-0.

[7] S. Mane and S. Kumar, "Analysis of surface roughness during turning of AISI 52100 hardened alloy steel using minimal cutting fluid application," *Adv. Mater. Process. Technol.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1080/2374068X.2020.1855965.

[8] F. Zemzemi, H. Khochtali, W. Ben Salem, B. Alzahrani, and M. L. Bouazizi, "Analytical multi-physics model of microstructure changes in hard turning of AISI 52100 steel: prediction of thicknesses of white and dark layers," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 112, no. 9–10, pp. 2755–2771, 2021, doi: 10.1007/s00170-020-06521-1.

[9] Y. Deshpande, A. Andhare, and N. K. Sahu, "Estimation of surface roughness using cutting parameters, force, sound, and vibration in turning of Inconel 718," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 39, no. 12, pp. 5087–5096, 2017, doi: 10.1007/s40430-017-0819-4.

[10] Y. V. Deshpande, A. B. Andhare, and P. M. Padole, "Application of ANN to estimate surface roughness using cutting parameters, force, sound and vibration in turning of Inconel 718," *SN Appl. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1007/s42452-018-0098-4.

[11] M. Kam and M. Şeremet, "Experimental investigation of the effect of machinability on surface quality and vibration in hard turning of hardened AISI 4140 steels using ceramic cutting tools," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process Mech. Eng.*, p. 09544089211007366, Apr. 2021, doi: 10.1177/09544089211007366.

[12] N. Ambhore, D. Kamble, and S. Chinchanikar, "Evaluation of Cutting Tool Vibration and Surface Roughness in Hard Turning of AISI 52100 Steel: An Experimental and ANN Approach," *J. Vib. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 3, pp. 455–462, 2020, doi: 10.1007/s42417-019-00136-x.

[13] A. Al-Shayea, F. M. Abdullah, M. A. Noman, H. Kaid, and E. Abouel Nasr, "Studying and Optimizing the Effect of Process Parameters on Machining Vibration in Turning Process of AISI 1040 Steel," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/5480614.

[14] S. Li, S. Li, Y. Hu, and E. Popov, "Experimental study on coupling characteristics of cutting temperature rise and cutting vibration under different tool wear states," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 118, no. 3–4, pp. 907–919, 2022, doi: 10.1007/s00170-021-07948-w.

[15] F. Karaaslan and A. Şahinoğlu, "Determination of Ideal Cutting Conditions for Maximum Surface Quality and Minimum Power Consumption During Hard Turning of AISI 4140 Steel Using TOPSIS Method Based on Fuzzy Distance," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 45, no. 11, pp. 9145–9157, 2020, doi: 10.1007/s13369-020-04635-y.

[16] A. Şahinoğlu, "Investigation of machinability properties of AISI H11 tool steel for sustainable manufacturing," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part E J. Process Mech. Eng.*, vol. 236, no. 6, pp. 2717–2728, 2022, doi: 10.1177/09544089221122004.

[17] A. Şahinoğlu, "Investigation of energy consumption and surface roughness in hot work

tool steel (DIN 1.2367) and cold work tool steel (DIN 1.2550)," *China Glob.*, vol. 32, pp. 173–192, 2020, doi: 10.4324/9780203121450-9.

[18] S. A. Bagaber and A. R. Yusoff, "A comparative study on performance of CBN inserts when turning steel under dry and wet conditions," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 257, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/257/1/012041.

[19] W. Grzesik, B. Denkena, K. Żak, T. Grove, and B. Bergmann, "Energy consumption characterization in precision hard machining using CBN cutting tools," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 85, no. 9–12, pp. 2839–2845, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-8091-1.

[20] H. Hughes and M. Paterson, "The IPCC and key tensions in global climate politics," *Temanummer: Klimakrisen*, no. March, pp. 6–14, 2020.

[21] T. T. Nguyen, "An energy-efficient optimization of the hard turning using rotary tool," *Neural Comput. Appl.*, vol. 33, no. 7, pp. 2621–2644, 2021, doi: 10.1007/s00521-020-05149-2.

[22] E. A. Abdelaziz, R. Saidur, and S. Mekhilef, "A review on energy saving strategies in industrial sector," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 1, pp. 150–168, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2010.09.003.

[23] A. Mahmoud, M. Shuhaimi, and M. Abdel Samed, "A combined process integration and fuel switching strategy for emissions reduction in chemical process plants," *Energy*, vol. 34, no. 2, pp. 190–195, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.11.007.

[24] F. Lu, G. Zhou, Y. Liu, and C. Zhang, "Ensemble transfer learning for cutting energy consumption prediction of aviation parts towards green manufacturing," *J. Clean. Prod.*, vol. 331, no. 28, p. 129920, 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.129920.

[25] M. K. Gupta, P. K. Sood, G. Singh, and V. S. Sharma, "Sustainable machining of aerospace material – Ti (grade-2) alloy: Modeling and optimization," *J. Clean. Prod.*, vol. 147, pp. 614–627, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.01.133.

[26] N. S. Bhadoria and G. Bartarya, "On the improvement in process performance of ceramic inserts during hard turning in MQL environment," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 37, no. 3, pp. 283–293, 2022, doi: 10.1080/10426914.2021.1967978.

[27] C. A. Scott and Z. P. Sugg, "Global energy development and climate-induced water scarcity-Physical limits, sectoral constraints, and policy imperatives," *Energies*, vol. 8, no. 8, pp. 8211–8225, 2015, doi: 10.3390/en8088211.

[28] V. S. Sharma, S. Dhiman, R. Sehgal, and S. K. Sharma, "Estimation of cutting forces and surface roughness for hard turning using neural networks," *J. Intell. Manuf.*, 2008, doi: 10.1007/s10845-008-0097-1.

[29] P. Sivaiah, M. Guru Prasad, M. Singh M, and B. Uma, "Machinability evaluation during machining of AISI 52100 steel with textured tools under Minimum Quantity Lubrication–A comparative study," *Mater. Manuf. Process.*, vol. 35, no. 15, pp. 1761–1768, 2020, doi: 10.1080/10426914.2020.1802034.

[30] S. Dinesh, T. P. Pillai, A. Parthiban, and K. Rajaguru, "Modelling of WEDM process for machining ASTM 52100 steel," *Mater. Today Proc.*, vol. 37, no. Part 2, pp. 1103–1106, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.06.343.

[31] A. Şahinoğlu and A. Güllü, "Investigation of the Relationship Between Current, Sound Intensity, Vibration and Surface Roughness in Machining of CuZn39Pb3 Material on

Lathe Machine," *J. Polytech.*, vol. 0900, no. 3, pp. 615–624, 2019, doi: 10.2339/politeknik.426106.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF CUTTING CONDITIONS AFFECTING SURFACE QUALITY AND VIBRATION

Assoc. Prof. Dr. Abidin ŞAHİNOĞLU

Manisa Celal Bayar University, Technical Sciences Vocational School,

Department of Machinery and Metal Technologies

abidinsahinoglu@gmail.com

ORCID /0000-0003-0040-442X

ABSTRACT

Increasing the service life of machinery is possible by using materials with higher strength. As the hardness of materials increases, their yield and tensile strength increase. As the hardness of materials increases, their corrosion and wear resistance also increases. At the same time, as hardness increases, the surface roughness value decreases. Therefore, a higher quality surface increases the service life of the machine. It also results in less energy consumption during its use. It prevents energy losses. Energy losses cause more friction and heat to be generated in the machine. Wear resistance increases in hardened steels. Therefore, energy losses that occur during the use of machine parts are prevented. However, machining hardened materials is difficult. For this reason, much research has been conducted in this area in recent years. Especially with the developments in cutting tool technology, it has become possible to machine hard materials. In this experimental study, AISI 4340 steel with two different hardness values was machined at different feed rates, depth of cut, and cutting speeds. Vibration and surface roughness values obtained from the machining experiments were analyzed. According to the ANOVA results, feed rate has a significant effect on surface roughness and vibration. It was observed that the vibration value increased with increasing depth of cut. It was also observed that the tool vibration decreased with increasing cutting speed, and consequently, the surface roughness value also decreased slightly. Finally, optimum parameters were determined using optimization techniques.

Keywords: Turning, optimization, regression analysis, tool vibration, surface quality

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

STRUCTURAL ANALYSIS AND LIGHTWEIGHTING STUDY OF M2-CLASS COMMERCIAL VEHICLE SEATS

MEHMED EMRE KÜÇÜKKAYA [1]

[1] ISI, Dosab, mekucukkaya@isri.com.tr - ORCID ID: 0009-0007-2659-5945

HÜSEYİN KESKİN [2]

[2] ISI, Dosab hkeskin@isri.com.tr - ORCID ID: 0008-0008-8397-1158

Doç. Dr. AHMET YILDIZ [3]

[3]Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Böl.

ahmetyildiz@uludag.edu.tr ORCID ID: 0000-0001-5434-4368

ABSTRACT

In recent years, seat manufacturers have increasingly focused on lightweight seat designs, particularly for electric vehicle applications. In this study, the existing seats used in M2-class commercial vehicles were first analyzed using the finite element method and subsequently validated through physical testing to confirm the accuracy of the analysis conditions. Based on the validated reference model, weight reduction studies were carried out by redesigning the seat platform and its connection profiles. Following this process, a new lightweight seat platform was proposed and detailed finite element analyses were conducted for the modified regions. The results demonstrated that the redesigned seat meets the requirements of the ECE R14 regulation. With the updated platform design, approximately **37% weight reduction** was achieved at the platform level, while an overall **12% mass reduction** was obtained for the complete seat assembly. The findings of this study provide a reliable and practical design methodology and share important insights for seat manufacturers and designers focused on lightweight and regulation-compliant commercial vehicle seat development.

Keywords: Vehicle seat, structural analysis, lightweight design, finite element analysis (FEA), ECE R-14

1. INTRODUCTION

In recent years, particularly with the widespread adoption of electric vehicles, the automotive industry has focused on weight reduction efforts to increase energy efficiency and reduce environmental impact. New production strategies developed within this scope aim to create a more cost-effective and efficient design process while maintaining safety and comfort requirements.

M2 class light commercial vehicles are vehicles with a total mass of up to 5 tons, including the driver, and capable of carrying more than eight passengers. The high number of seats in this class of vehicles means that each weight reduction has a significant impact on total energy consumption. Therefore, seat manufacturers consider weight optimization in structural elements as one of the fundamental design requirements. Parts are expected to meet functional requirements, have sufficient ergonomic features, and demonstrate maximum structural efficiency. In the literature, there are many studies with minimum material by using optimization techniques [1-5].

Studies in the literature also demonstrate that finite element methods (FEA) are widely used to accelerate product validation processes and reduce costs [6-10]. FEA significantly shortens the design process by enabling the numerical simulation of static and dynamic loads to which vehicle components are subjected. Various optimization techniques are used for energy efficiency and performance improvement. Among these techniques, one of the most effective methods in structural improvement studies is topology optimization [10-14].

In this study, the aim was to lighten the lower mounting brackets of passenger seats used in commercial vehicles to meet the ECE-R 14 seatbelt tensile test requirements. First, the existing design was evaluated using experimental methods and finite element analysis, and the model was validated. Then, FEA tests were performed with a different platform. Maximum stresses and displacements were examined on the model. As a result of the tests performed, it was seen that it met the ECE R-14 regulation requirements. With the renewed design, a 37% optimization was achieved in the platform. When the entire seat is considered, a 12% mass reduction is observed.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EXISTING SEAT DESIGN FOR M2 CLASS VEHICLE

The existing design model of the passenger seat used in commercial vehicles is given in Figure 1. This design of passenger seat was tested using the finite element method and subsequently validated with ECE R-14 tests as given in the below.

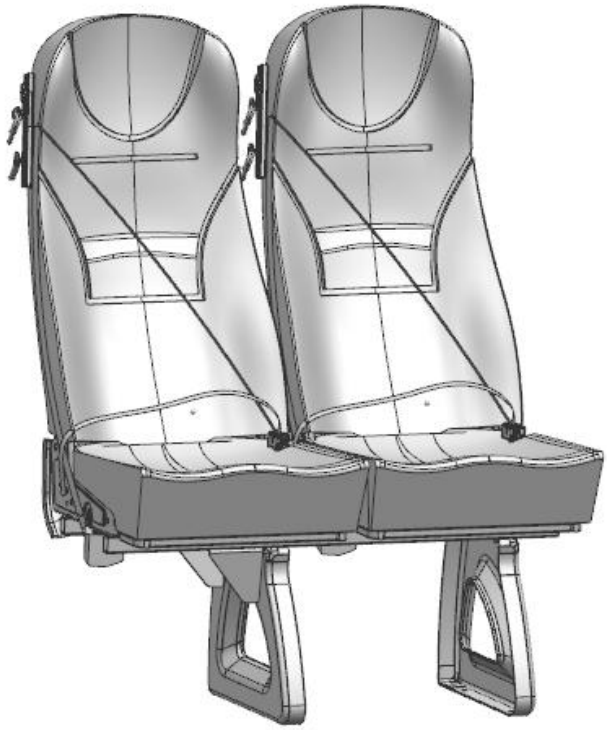


Figure 1. Passenger seat used in M2 Class vehicles.

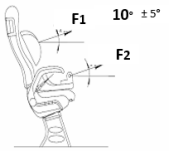
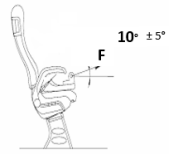
		Max 8+1 kişilik araçlar	Min. 9+1 yolcu, max. beş tonluk araçlar	Min. 9+1 yolcu, ve min. beş tonluk araçlar
3 Nokta Emniyet Kemeri		**M1**	**M2**	**M3**
	**F1**	1350 ± 20 daN	675 ± 20 daN	450 ± 20 daN
	F2	1350 ± 20 daN+G*20	675 ± 20 daN+G*10	450 ± 20 daN+G*6.6
		Koltuk ağırlığının 20 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=1350 ± 20 daN F2=1350 ± 20 daN +G*20 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 10 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=675 ± 20 daN F2=675 ± 20 daN +G*10 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk Ağırlığının 6.6 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F1=450 ± 20 daN F2=450 ± 20 daN +G*6.6 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)
2 Nokta Emniyet Kemeri		**M1**	**M2**	**M3**
	**F**	2225 ± 20 daN+G*20	1110 ± 20 daN+G*10	740 ± 20 daN+G*6.6
		Koltuk ağırlığının 20 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F=2225 ± 20 daN +G*20 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk ağırlığının 10 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır F=1110 ± 20 daN +G*10 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)	Koltuk Ağırlığının 6.6 katı komple koltuğa ilave yük olarak uygulanır. F=740 ± 20 daN +G*6.6 (Yukarıda belirtilen kuvvetler en az 0,2 saniye uygulanmalıdır.)
		G : Tek Koltuk ağırlığı (Newton) daN : 10 Newton 1 kg ≅1 daN İkili koltukta G yerine Toplam koltuk ağırlığının yarısı girilir.		

Figure 2. ECE-R 14 three-point seatbelt values for M1, M2, and M3 classes.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

In the design process, there are many regulations regarding seat safety. One of them is ECE R-14 given in Figure 2. Tensile force is applied to the passenger seats in the areas indicated by F_1 and F_2. If no cracking occurs in the seat during the test and the seat's maximum permissible displacement is not exceeded, the result is considered successful.

THE FINITE ELEMENT ANAYSIS AND EXPERIMENTAL TESTS OF EXISTING SEAT MODEL FOR M2 COMMERCIAL VEHICLE

This section describes the finite element model developed for the M2-class commercial vehicle seat. The model accurately represents the seat frame geometry, material properties, and connection details in accordance with relevant regulations in Figure 3. Appropriate boundary conditions and load cases are applied to evaluate the structural performance and serve as a baseline for further optimization studies.

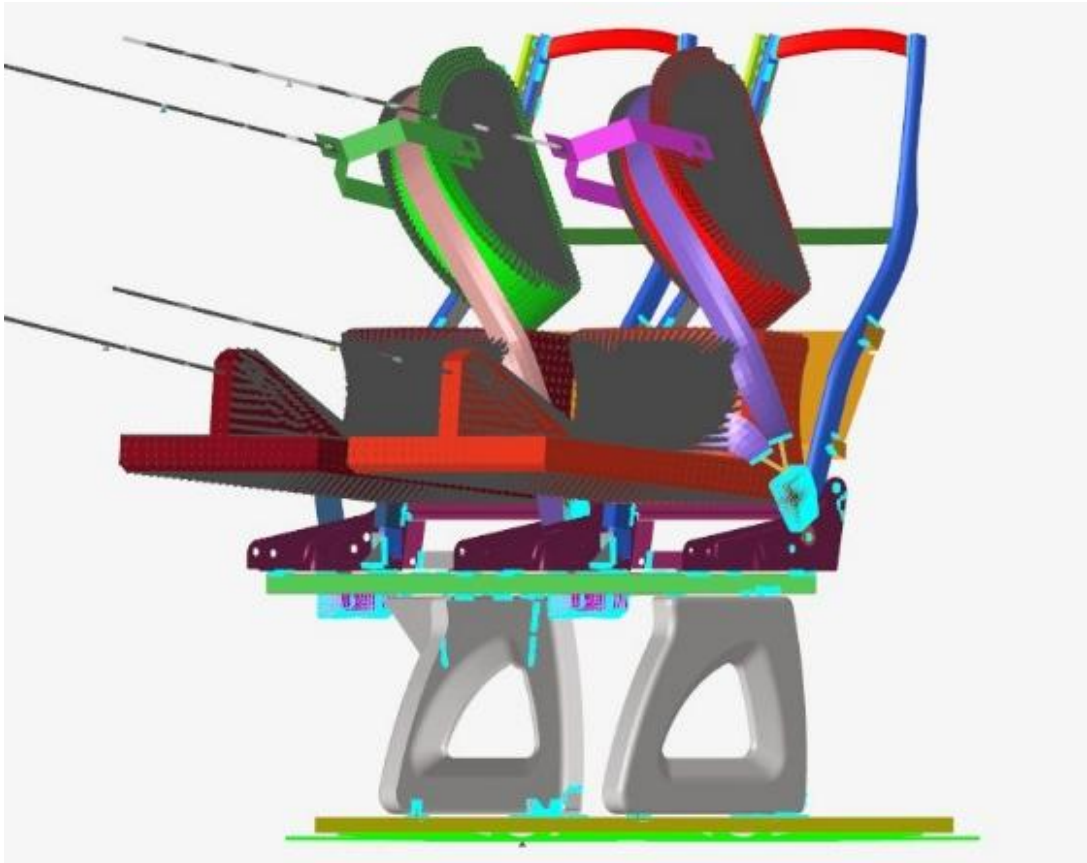


Figure 3. Finite element model of existing seat of M2 vehicle

In this analysis, according to ECE R-14 regulation requirements, forces of 675 DaN and 850 DaN were applied, and a maximum displacement of 255 mm was observed. Analysis of the model revealed that the maximum stress on the seat was 537 MPa as given in Figure 4.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

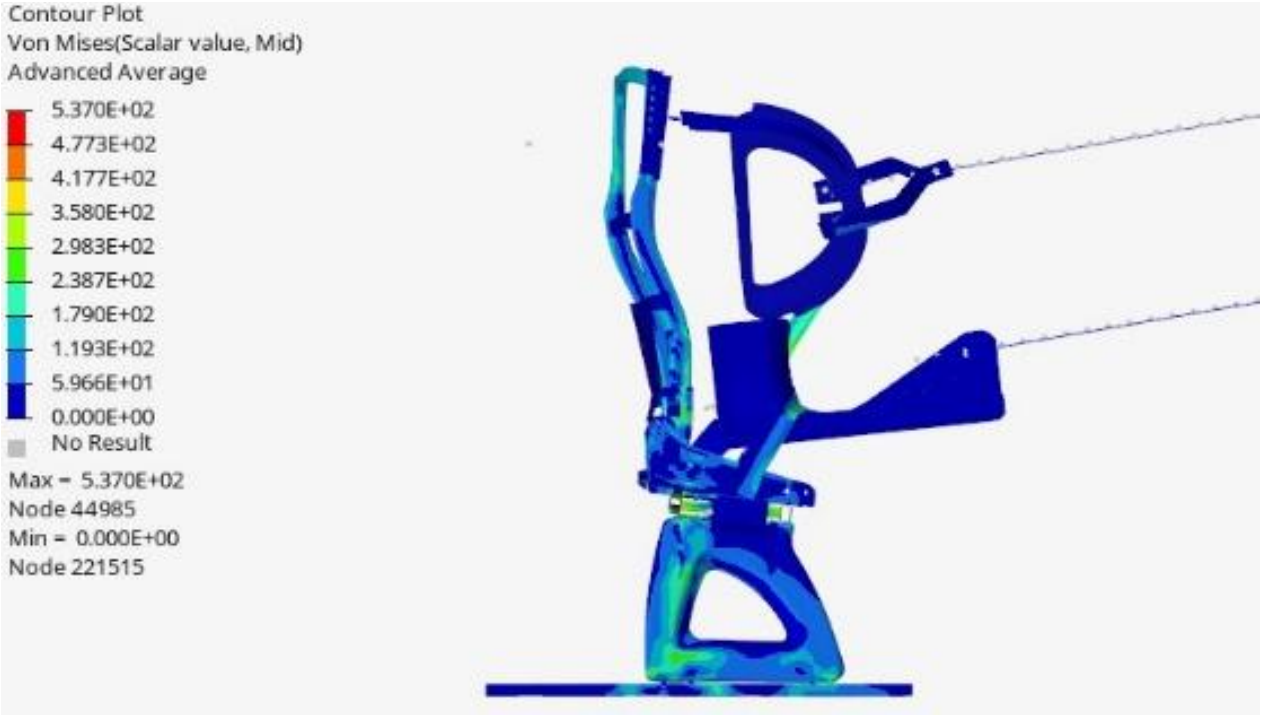


Figure 4. Finite element analysis results of existing seat model

Figure 5. Experimental testing of of existing seat model

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

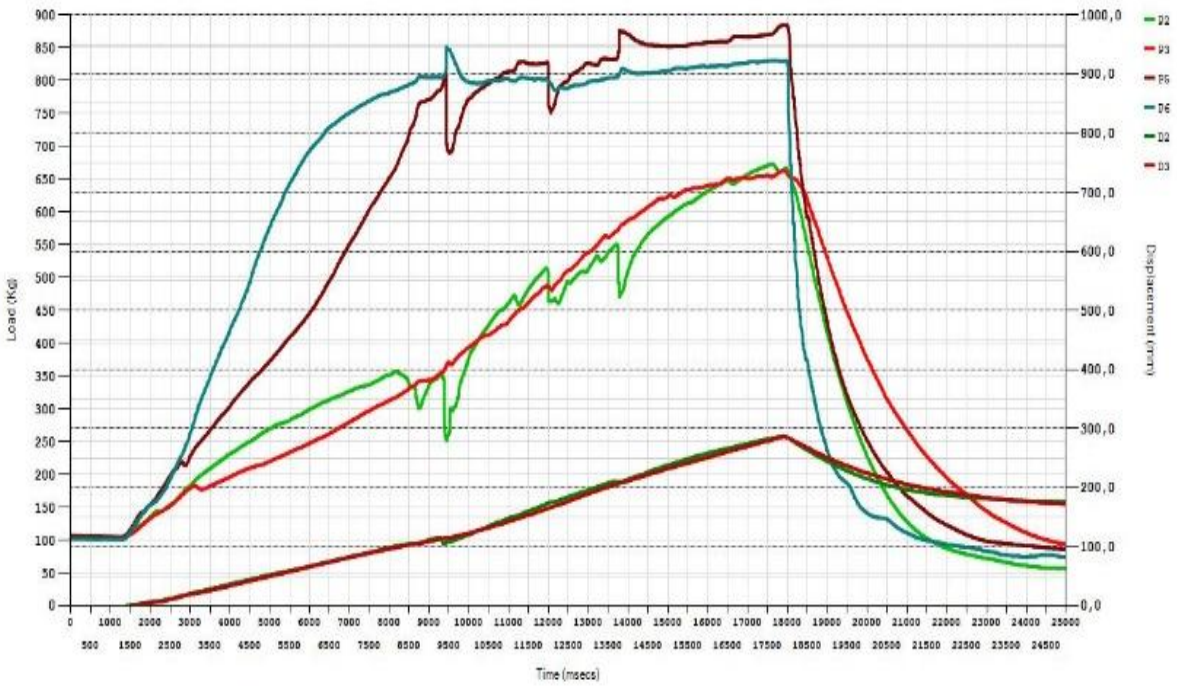


Figure 6. Load-displacement graph of physical test results.

As seen in Figure 6, the physical tests performed resulted in a maximum displacement of 280 mm, as seen in Figure 7, meeting the ECE R-14 requirements. When compared with the analysis performed, it has a 91% accuracy rate.

OPTIMUM DESIGN OF SEAT PLATFORM FOR LIGHTWEIGHTING THE COMMERCIAL VEHICLE SEAT

This section focuses on the optimum design of the seat platform aimed at reducing the overall weight of the commercial vehicle seat while maintaining structural integrity and safety requirements. Design improvements were achieved through geometry optimization and material-efficient structural modifications based on finite element analysis results. The optimized seat platform provides a significant weight reduction without compromising strength, durability, or compliance with M2-class commercial vehicle regulations.

With the newly developed lightweight design, the mass of the seat platform was reduced from 10.629 kg to 6.604 kg as shown in Figure 7 and Figure 8. This improvement corresponds to a total weight reduction of 4.025 kg, achieved through geometric optimization and material-efficient design modifications in the seat platform area. As a result, an approximate 37.9% weight reduction was obtained, contributing significantly to vehicle mass reduction while

preserving the structural strength and regulatory compliance of the M2-class commercial vehicle seat.

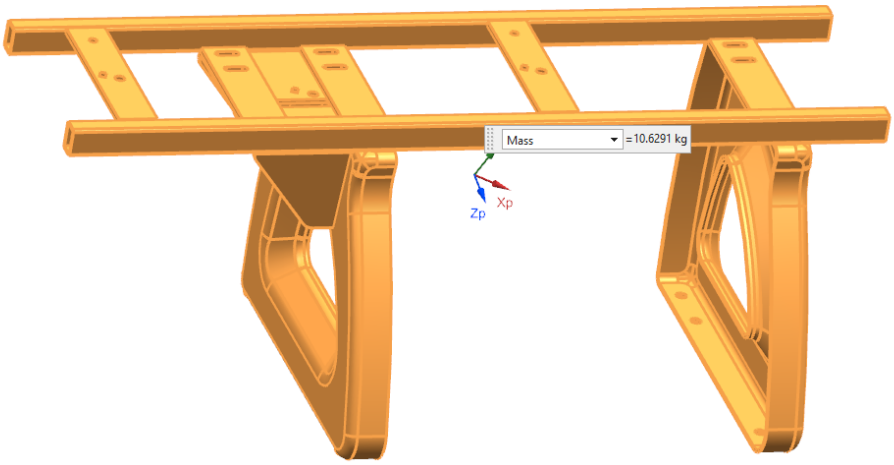


Figure 7. Existing Seat Platform Model (10.629 kg)

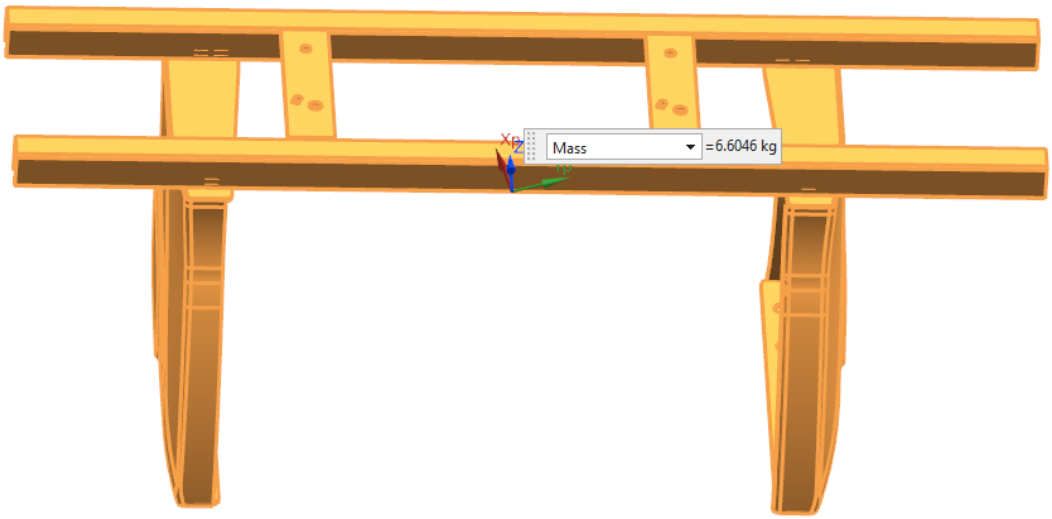


Figure 8. Newly Developed Lightweight Seat Platform Model (6.604 kg)

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF NEW DEVOLOPED LIGTHWEITING SEAT PLATFORM

This section presents the finite element analysis of the newly developed lightweight seat platform designed for M2-class commercial vehicles. The numerical model evaluates stress distribution, deformation behavior, and safety performance under regulatory load cases. The

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

results are used to verify structural integrity while demonstrating the weight reduction achieved without compromising strength and durability as shown in Figure 9.

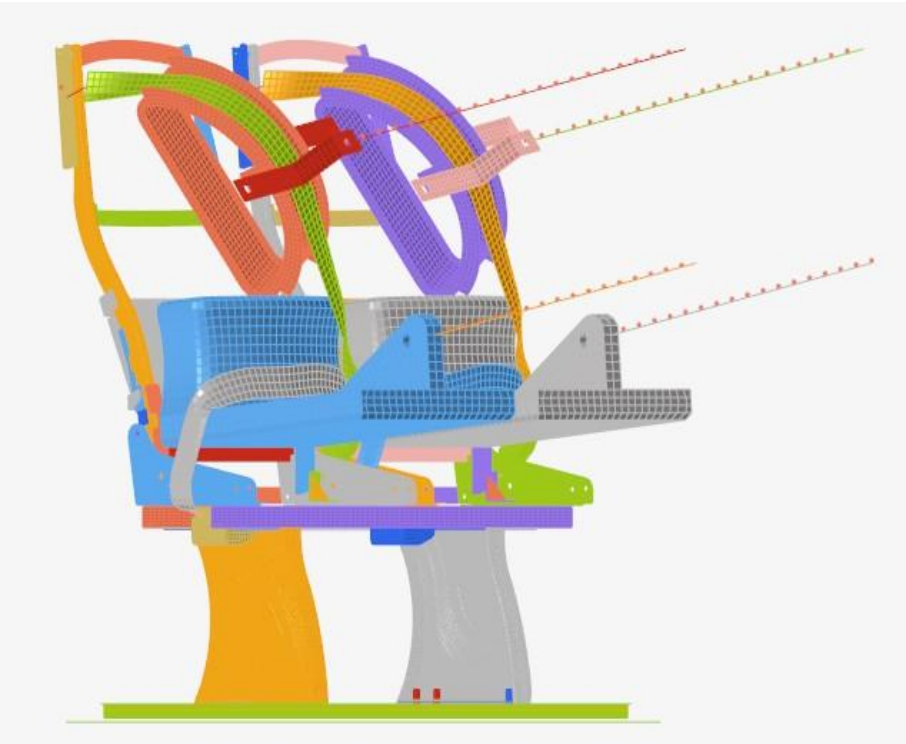


Figure 9. Finite Element Model of the Newly Developed Lightweight Seat for an M2-Class Vehicle

In this analysis, same conditions are applied to the new developed lightweight seat according to ECE R-14 regulation in the finite element model. Forces that were 675 DaN and 850 DaN were applied, and a maximum displacement of 243 mm was observed. Analysis of the model revealed that the maximum stress on the seat was 531 MPa as demonstrated in the Figure 10.

The results obtained from the finite element analyses and experimental tests indicate that the newly developed lightweight seat platform successfully meets the structural and safety requirements defined by the ECE R14 regulation. Stress and deformation levels in the optimized design remained within acceptable limits under the applied load cases. The proposed design achieved approximately 37% weight reduction at the seat platform level, while an overall 12% mass reduction was realized for the complete M2-class commercial vehicle seat, demonstrating a significant improvement in weight efficiency without sacrificing safety or durability.

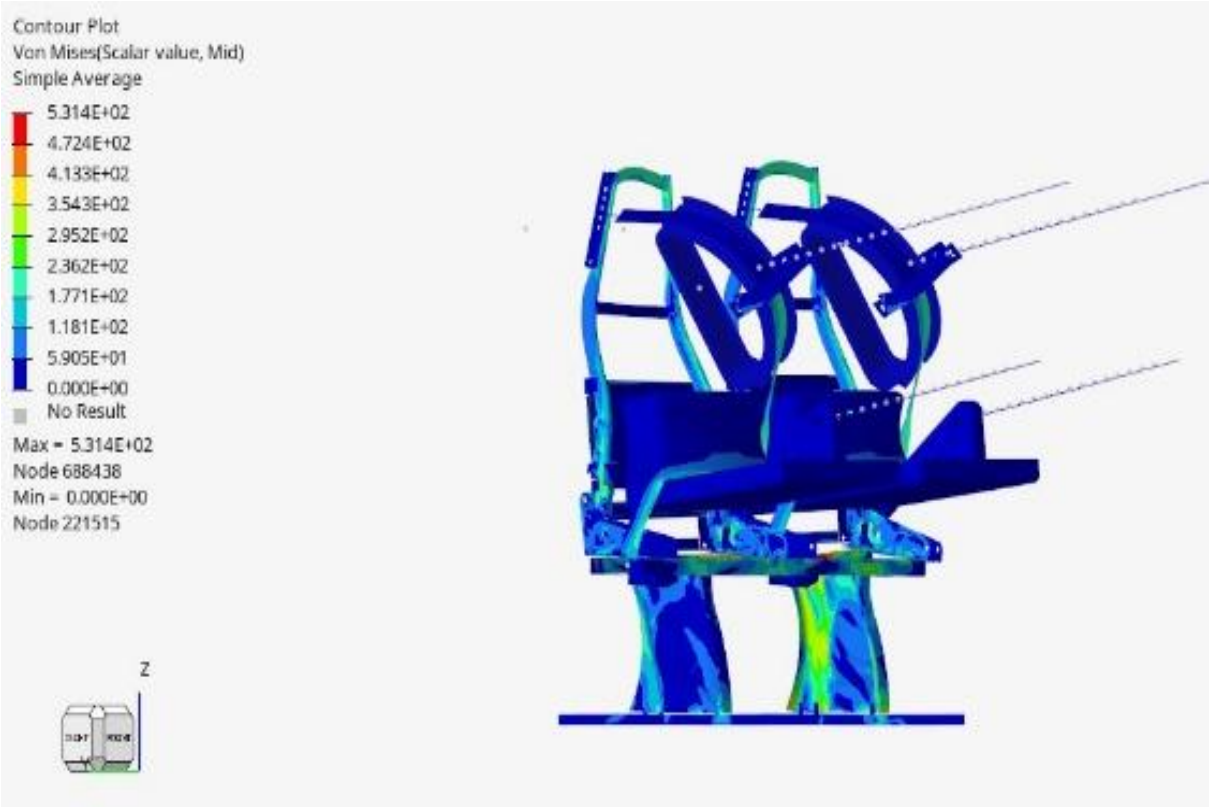


Figure 10. Finite element analysis results of new developed seat model

CONCLUSION

In this study, significant results are presented regarding weight reduction efforts for seats used in M2-class commercial vehicles. Initially, the existing seat design was validated through finite element analyses and physical testing. Subsequently, a new seat platform design was developed, and detailed finite element analyses were carried out for the modified regions. The results demonstrated that the redesigned seat meets the requirements of the ECE R14 regulation. With the updated platform design, approximately **37% weight optimization** was achieved at the platform level, while a **12% total mass reduction** was obtained for the complete seat assembly. Thus, this study shares important findings for seat manufacturers and designers by presenting a reliable and practical design methodology for lightweight seat development.

REFERENCES

1. Li, D., & Kim, I. Y. (2018). Multi-material topology optimization for practical lightweight design. Structural and Multidisciplinary Optimization, 58, 1081–1094 (2018). https://doi.org/10.1007/s00158-018-1953-z

2. Gunwant, D., & Misra, A. (2012). Topology Optimization of sheet metal brackets using ANSYS. MIT International Journal of Mechanical Engineering, 2(2), 120-12
3. Kim, S. I., Kang, S. W., Yi, Y. S., Park, J., & Kim, Y. Y. (2018). Topology optimization of vehicle rear suspension mechanisms. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 113(8), 1412-1433
4. Tang, L., Wu, J., Liu, J., Jiang, C., & Shangguan, W. B. (2014). Topology optimization and performance calculation for control arms of a suspension. Advances in Mechanical Engineering, 6(1), 734568
5. Shanmugasundar, G., Dharanidharan, M., Vishwa, D., & Kumar, A. S. (2021). Design, analysis and topology optimization of connecting rod. Materials Today: Proceedings, 46, 3430-3438
6. Yildiz, A., Yeşilova, T., Değirmencioğlu F. (2023) Robotik Üretim Hatlarında Kullanılan C Tipi Pres Gövdesinin Yapısal Analizi ve Optimizasyonu, Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 8, 535-540, Ankara, 2023
7. Yildiz, A., Yilmaz, Ö., & Karabulut, H. (2022). Structural design optimization of the arc spring and dual-mass flywheel integrated with different optimization methods. Materials Testing, 64(2), 240
8. Yildiz, A. (2021). Parametric synthesis of two different trunk lid mechanisms for sedan vehicles using population-based optimisation algorithms. Mechanism and Machine Theory, 156, 10413
9. Yildiz, A. (2019). A comparative study on the optimal non-linear seat and suspension design for an electric vehicle using different population-based optimisation algorithms. International Journal of Vehicle Design, 80(2-4)
10. Vossou, C., Nakos, A., & Koulocheris, D. (2022, December). Topology optimization of a MacPherson control arm. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1271, No. 1, p. 012013). IOP Publishing
11. [20] Sookchanchai, K., Olarnrithinun, S., & Uthaisangsuk, V. (2021, June). Lightweight design of an automotive lower control arm using topology optimization for forming process. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1157, No. 1, p. 012083). IOP Publishing, July 2021, Stuttgart, Germany
12. Altınel, K, Yıldız A , Yüce C., (2023) Ağır Ticari Araç Süspansiyon Sistemleri için Modüler Taşıyıcı Kol Mekanizmasının Tasarımı ve Analizi, Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology, 11(2): 794-803.
13. Yıldız, A., Kırıkoğlu S., Sanver, N., (2023) Servo Tahrikli Bir Makaslı Kaldırma Mekanizmasının Tasarımı, Analizi ve Optimizasyonu. Uluslararası Bilim Teknoloji Ve Tasarım Dergisi, 4(1), 16-27.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

AN NTOP CONNECTOR BASED INTEGRATION OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES INTO NTOP

Res. Asst., AHMET DAYANÇ

Kutahya Dumlupinar University,

ahmet.dayanc@dpu.edu.tr - 0000-0002-5214-9021

Prof. Dr., İSMET ÇELİK

Kutahya Dumlupinar University,

ismet.celik@dpu.edu.tr - 0000-0002-6564-0880

ABSTRACT

This study focuses on the innovative "Adaptive Density Minimal Surfaces" (ADMS) architecture developed by the Swiss software company Spherene. ADMS is positioned as a novel metamaterial architecture that overcomes the limitations of conventional lattice structures and certain "Triply Periodic Minimal Surfaces" (TPMS), offering near-isotropic performance and locally tunable density characteristics. The underlying motivation for developing such architectures and pursuing innovation is to design lighter and more porous components via additive manufacturing that deliver higher strength per unit weight and improved sustainability. Application domains for porous structures include the lightweighting of aerospace brackets, biocompatible medical implants, and a range of similar engineering use cases. The ADMS structures developed by Spherene can be externally integrated into various software platforms, including Rhino/Grasshopper, Autodesk Fusion, and nTop, an implicit modeling software.

In this work, the integration of ADMS structures (currently not available as a native feature in nTop) into the nTop platform is explained, and several examples of output geometries are presented to illustrate the results generated by a function block capable of creating ADMS structures as a function of different input parameter values. As an outcome of this research, it is considered that Spherene's ADMS can contribute substantially to design innovation in engineering, owing to its ability to be designed rapidly using automated workflows, its ease of adaptation to target geometries, and its single-step manufacturability that enables nearly support-free additive manufacturing.

Keywords: Adaptive Density Minimal Surfaces**,** Metamaterial**,** Spherene

INTRODUCTION

Adaptive Density Minimal Surface (ADMS) is a metamaterial architecture developed by Spherene that constitutes an innovative minimal-surface solution capable of overcoming certain limitations of conventional lattice structures and "Triply Periodic Minimal Surface" (TPMS) architectures, which are formed by periodic repetition of unit cells composed of surfaces along three axes [1]. As a minimal surface with zero mean curvature, ADMS is generated in a design-specific manner through a single-step generative process; therefore, unlike classical TPMS approaches that rely on repeating or scaling unit cells, the entire structure is produced to continuously adapt to loading scenarios from multiple directions and to geometric constraints. One of the most significant advantages of this approach is its near-isotropic mechanical response. ADMS internal structures provide nearly equivalent strength and stiffness in all directions, thereby preventing direction-dependent weaknesses; consequently, a more predictable and balanced stress distribution can be achieved under multiaxial loading. In addition, while preserving the minimal-surface character (i.e., zero mean curvature), ADMS exhibits surface conformity, meaning that it can fully conform to the surrounding geometry. Designers can create ADMS structures that are not natively available in nTop via the Spherene plug-in for ntop and can locally adjust parameters such as density and surface bias; in this way, the density distribution within the internal structure or the surface position can be modified according to regional requirements [2]. All of these modifications can be implemented without compromising the minimal-surface nature of the structure or its overall isotropic performance.

The underlying motivation of the ADMS architecture is the production of lighter structures with high specific strength. Accordingly, in applications such as aerospace structural components or biomedical implants, hollow or porous parts can be designed to deliver the required strength at minimal weight. Spherene's approach is to intelligently optimize material distribution throughout the part using more material in regions where loads and stresses are high and less material elsewhere thereby strengthening the structure "locally" in accordance with functional needs. Indeed, the adaptive cell topology of ADMS can eliminate unnecessary mass while providing sufficient support in critical regions, potentially enabling a high strength-to-weight ratio (high specific strength) and improved sustainability. Spherene software can be integrated as a plug-in into CAD platforms such as Rhino/Grasshopper and Autodesk Fusion 360 [3], [4]. Moreover, as addressed in this study, it can also be integrated into the implicit modeling software nTop via an "ntop connector" [5]. In this manner, designers can generate external geometries within familiar CAD environments and then infill the part with ADMS metamaterial, thereby enabling an innovative design workflow. The integration of ADMS structures into nTop, an implicit modeling environment, facilitates automation and rapid iteration in ADMS design processes, allowing engineers to develop multiple design variations within a short timeframe.

MATERIALS AND METHODS

In this study, enabling the use of Spherene ADMS structures within the nTop environment was made possible through a cloud-based nTop Connector service. First, the required license was obtained from Spherene and an API key was issued; subsequently, the plug-in was installed into the nTop software using the .msi installer provided by Spherene. After installation, the function blocks belonging to Spherene became visible under the Connector section of the nTop interface. At first launch, the Spherene function blocks prompt the user to authenticate by entering the API key. The API key can be viewed after logging into the Spherene Portal [6]. Thereafter, these blocks take the inputs (parameters and geometries) from within nTop, perform the computation on Spherene's cloud server, and return the output to nTop as a geometric object. This workflow ensures that Spherene algorithms are executed in the background and, as a result, an error-free, print-ready ADMS geometry is generated and delivered back to the client.

In this study, the primary input parameter of the relevant Spherene function block is an envelope (env) geometry. The envelope is a closed solid model in mesh format that defines the external boundaries within which the ADMS structure is generated. Within the scope of this work, ADMS structures were produced using a spherical envelope. The Spherene function block generates a minimal-surface structure that completely fills the interior of the given envelope and contacts the envelope surface at an angle close to the local surface normal (i.e., conforming to the surface). To promote a non-perpendicular, more inclined approach of the ADMS surface in regions where it attaches to the envelope boundary and thereby strengthen these connections the Density Field Envelope (dfenv) approach was employed when necessary. The "dfenv" is a volume that fully encloses the original envelope but has simplified geometric details; ADMS is first grown within this volume, and the resulting geometry is then trimmed by the original envelope to obtain the final form. This method, particularly in challenging areas such as sharp edges or very thin sections, enables the minimal surface to form more freely and to anchor to the final envelope surface with more robust connections. Spherene's nTop function blocks allow the user to input a range of parameters to control various attributes of the ADMS geometry. Within this study, the following parameters were examined in particular, and their effects were observed:

Density Field and Density Reference Thickness: These are used to locally adjust the volumetric density fraction of the ADMS structure. When a single density value is specified, a uniform density is obtained throughout the structure; when different density values are assigned to multiple points, the system performs a linear transition (interpolation) between these values, thereby generating a spatial density gradient. In this manner, the designer can obtain a graded cell structure by making certain regions within the part denser (more solid) and other regions more sparse. In practical terms, the density value expresses, in percentage form, how much material the ADMS structure contains relative to the total volume of the envelope; for example, a density of 5% means that the minimal surface contains a solid material volume corresponding to 5% of the total volume.

Surface Bias: This parameter enables the minimal surface to be shifted slightly from its ideal position along the surface normal. A value of Surface Bias = 0 represents the case in which the surface is positioned at its mean (neutral) location; negative values drive the surface toward the center of the envelope, whereas positive values offset it outward, thereby altering the cell morphology. By providing control over surface morphology, this parameter can locally influence, for example, the thickness distribution of cell walls or the shapes of internal voids. In this study, different surface bias values ranging between +1 and −1 were applied, creating cases in which the minimal surface is embedded inward in certain regions of the spherical envelope and approaches the envelope boundary more closely in other regions; the manner in which this variation affects the internal architecture is demonstrated.

“dfenv”: The dfenv is an auxiliary geometry used to improve ADMS generation, particularly for envelopes containing fine details or sharp corners. The “dfenv” constitutes a slightly larger boundary that preserves the overall form of the original envelope while smoothing out its details (e.g., eliminating small protrusions and indentations). The Spherene block first generates the ADMS surface with respect to this dfenv envelope and connects the outer extremities of the structure to the dfenv boundary; subsequently, the resulting structure is trimmed according to the original envelope (env) to obtain the final configuration. Because this approach does not enforce a strictly perpendicular contact of ADMS cell walls with the original envelope boundary at every point and instead relaxes the connection angles it facilitates the formation of a continuous structure in sharp-tipped or narrow regions and helps satisfy minimum printable thickness constraints.

Cavity: This parameter is used to introduce controlled voids or channels within the ADMS structure. It provides the designer with the capability to define a cavity at a specified location and radius. The defined cavity region corresponds to the zone in which material will be removed from the ADMS minimal surface to create an internal void. Through this parameter, it becomes possible to integrate functional cavities within a part, such as air passages, cable feed-through holes, or fluid-flow channels. The “CavityFront” and “CavityBack” parameters control which of the two disjoint labyrinth void networks of the ADMS structure the cavity will open into. In other words, since ADMS inherently contains two disconnected void networks (front and back labyrinths), the cavity surface can be configured to open into either the front or the back network. For instance, in this study, when a cavity was defined within the spherical envelope and the Front labyrinth was selected, a channel opening to the exterior formed in that region within the ADMS structure; when the Back labyrinth was selected, a different internal channel was obtained at the same location, opening into the other void network. In this manner, entry/exit ports or internal channels can be designed at desired locations without compromising the integrity of the ADMS structure. Figure 1 below presents the different geometries generated in this study under various input parameter configurations.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

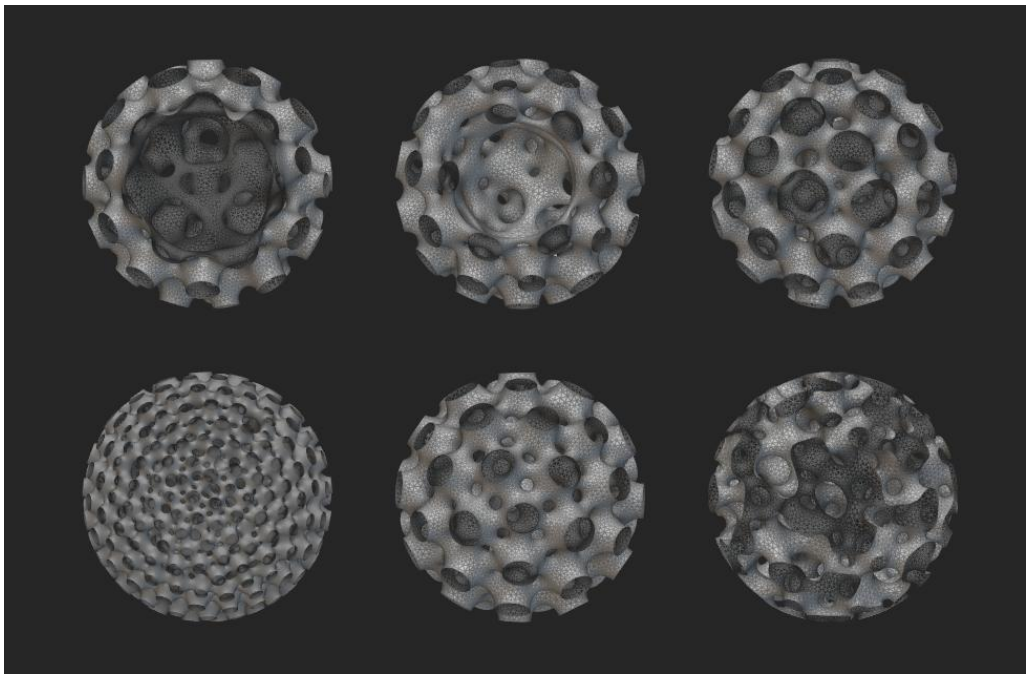


Figure 1: ADMS Structures with Various Input Parameter Configurations

RESULTS AND CONCLUSIONS

As a result of this study, it has been demonstrated that Spherene ADMS structures although not natively available in nTop can be successfully integrated into the nTop software environment, thereby enabling new designs to be developed within the implicit modeling framework provided by nTop. While ADMS is not a local feature included in nTop's own library, its use within the nTop interface has been made possible via Spherene's cloud-based nTop Connector. In the trials conducted on a spherical envelope geometry, the manner in which changes in the parameters of the Spherene function block affect the output geometries was illustrated. For instance, when different values were assigned to different locations within the sphere using the density field, it was observed that the cell density of the resulting ADMS structure varied gradually from region to region (i.e., exhibited a graded transition). This graded density distribution enabled the formation of denser, smaller cells in one portion of the structure and sparser, larger cells in another, thereby allowing the material to be distributed in a customized manner throughout the part. Similarly, modifying the surface bias parameter with positive and negative values altered the position of the minimal surface within the spherical envelope relative to its surface normal; for example, with a positive bias value, the cell walls were observed to run closer to the spherical boundary, whereas with a negative bias value, the cell walls were drawn toward the center and positioned farther from the outer surface. These morphological variations demonstrate that the minimal-surface geometry can be shaped in a flexible manner. In addition, the voids introduced into the spherical structure through the Cavity parameter revealed that it is feasible to create an internal channel or aperture within the ADMS architecture. The integration of such functional cavities indicates that ADMS structures may be adapted not only for structural lightweighting but also for design scenarios requiring heat exchange, fluid passage, or internal access.

In conclusion, enabling the use of the Spherene ADMS minimal surface within an implicit modeling environment such as nTop offers substantial potential for innovation in engineering design. This study has shown how the parametric characteristics of ADMS can be applied in a practical design example and has clarified their influence on the resulting geometry. The findings indicate that designers can deliberately vary the parameters within the ADMS function block to refine and improve their designs. Considering that ADMS structures exhibit an isotropic and surface-conforming character without introducing directional weaknesses even when local adjustments are applied and that they can conform seamlessly to part boundaries, certain constraints commonly encountered in conventional lattice designs may be mitigated. Because Spherene ADMS generates an optimized internal architecture in a single pass for each design process, it reduces the need for manual repetition or trial-and-error, thereby potentially shortening design cycles. Moreover, ADMS geometries are continuous and suitable for additive manufacturing; that is, they have the potential to be fabricated without requiring support structures during the printing process. This can translate into reduced material waste, shorter build times, and minimal post-processing, thereby lowering production costs and improving sustainability. Overall, given its capability to be rapidly designed through automated workflows, readily adapted to a target geometry, and manufactured in a nearly support-free manner in a single step, Spherene ADMS is expected to make a meaningful contribution to the development of engineering components that are lighter, stronger, and more environmentally sustainable.

REFERENCES

[1] Spherene, “Spherene | Design the New Standard — from the Inside out.” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://spherene.io/

[2] Spherene.io, “Spherene | Platforms | nTop.” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://spherene.io/platforms-ntop

[3] Spherene.io, “Spherene - Autodesk Fusion.” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://spherene.io/platforms-fusion

[4] Spherene.io, “Spherene - Rhino Grasshopper.” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://spherene.io/platforms-rhino

[5] J. Walles, “How to create and enable a Connector for nTop – nTop Support.” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://support.ntop.com/hc/en-us/articles/42085876667667-How-to-create-and-enable-a-Connector-for-nTop

[6] Spherene, “Dashboard (for API Key, Login Required).” Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://portal.spherene.ch/en/

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MECHANICAL COMPARISON OF SPHERENE'S ADAPTIVE DENSITY MINIMAL SURFACES AND TRIPLY PERIODIC MINIMAL SURFACES UNDER MATCHED MASS AND ENVELOPE VOLUME

Res. Asst., AHMET DAYANÇ

Kutahya Dumlupinar University,

ahmet.dayanc@dpu.edu.tr - 0000-0002-5214-9021

Prof. Dr., İSMET ÇELİK

Kutahya Dumlupinar University,

ismet.celik@dpu.edu.tr - 0000-0002-6564-0880

ABSTRACT

This study presents a comparative structural investigation of the Adaptive Density Minimal Surface (ADMS) architecture, introduced as a novel minimal-surface-based metamaterial developed by Spherene. Mechanical metamaterials are structures whose effective mechanical response is governed predominantly by geometry, and they are of critical importance for lightweight components targeting high strength-to-weight ratios, particularly in the context of additive manufacturing. Minimal surfaces are curvature-balanced geometries characterized by an approximately zero mean curvature. Triply Periodic Minimal Surface (TPMS) structures, whose unit cells repeat periodically along three axes, are widely used in engineering as porous core architectures. However, conventional beam-based lattices and TPMS lattice approaches are often constrained by a fixed unit-cell paradigm, which limits local density gradation and can lead to anisotropic mechanical responses.

ADMS aims to overcome certain limitations by providing locally tunable relative density while preserving an approximately isotropic (direction-independent) performance. Accordingly, it is anticipated that functionally graded porosity may be achieved without abrupt morphological transitions that can adversely affect printability or stress transmission. This study focuses on the mechanical comparison of an ADMS structure and a TPMS structure within the nTop platform, which employs implicit modeling technology.

As a preliminary step, since the ADMS design workflow is not available as a native feature in nTop, an external function block was integrated into nTop to enable ADMS generation within the software environment. Consequently, one ADMS and one TPMS structure were designed, and these two distinct metamaterials (matched in mass and envelope volume) were compared in terms of their mechanical behavior.

Keywords: ADMS, Spherene's Metamaterial, TPMS

INTRODUCTION

Mechanical metamaterials are engineered structures whose effective mechanical properties are governed predominantly by their geometric architecture rather than by the composition of the base material. When lattice structures are designed using strut-based or minimal-surface-based geometries, it becomes possible to realize high strength-to-weight ratios and distinct mechanical responses that are difficult to achieve with fully dense materials. Triply Periodic Minimal Surface (TPMS) architectures consist of minimal surfaces [1]. In this context, minimal-surface-based lattices constitute an important class of metamaterials; these surfaces are defined by zero mean curvature and are continuous interfaces that partition space into two interpenetrating volumes. The gyroid is also a TPMS structure [2]. Owing to their high surface-area-to-volume ratio and periodic symmetry, TPMS architectures such as the gyroid can be employed in engineering as porous infill for lightweight core configurations. A range of porous architectures whether strut or surface-based are being considered across a broad application spectrum, from aerospace sandwich-panel cores to innovative compact heat exchangers and certain biomedical applications. Nevertheless, conventional TPMS lattices may, by their nature, limit design adaptability and, in some cases, mechanical isotropy.

TPMS lattices and their limitations: A gyroid TPMS is obtained by periodic repetition of a minimal surface with approximately zero mean curvature along three axes at the unit-cell level. Although gyroid and related TPMS architectures can deliver high strength-to-weight performance, the fixed unit-cell paradigm introduces specific constraints. Adapting a periodic lattice to complex or functionally graded designs may require cell scaling, cell distortions, and boundary trimming. This can lead to adverse effects such as sharp transitions, disconnected features, and discontinuous load transfer. Moreover, arranging unit cells according to a particular orientation can produce stiffness and strength differences that depend on the loading direction, thereby tending to induce anisotropic behavior. TPMS architectures may exhibit different mechanical responses along different axes. The basis of this anisotropy lies in the repetition of the periodic pattern relative to a reference orientation and in the inability to distribute surface normals in space in a fully balanced manner (i.e., close to rotational symmetry); consequently, weak planes may emerge in certain directions. In addition, local density control in classical TPMS architectures can be limited. Relative density is typically adjusted by changing cell size or wall thickness; therefore, these methods risk degrading the minimal-surface property and increasing the likelihood of local stress concentrations in certain regions.

The ADMS approach: The Adaptive Density Minimal Surface (ADMS) architecture developed by Spherene has been proposed as a new metamaterial approach intended to overcome the above limitations. Rather than relying on repetition of fixed unit cells, ADMS aims to generate a minimal surface in a single step, continuously throughout the volume and conformally to the part's outer envelope (boundary). This may imply that the internal surface evolves by following the boundary geometry "from the outside in," thereby preserving continuity even for complex shapes without cell trimming or cell distortion. With this approach, material can be distributed more "intelligently," being placed at higher density in regions where structural requirements are more demanding; thus, functionally graded porosity can be achieved without sharp

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

morphological transitions. The principal differences between ADMS and conventional TPMS can be summarized as follows:

Conformality: TPMS lattices are typically populated into a volume by repeating unit cells and trimming them at the boundary; this process can produce cell distortions or sharp cut sections, particularly along curved boundary geometries. By contrast, ADMS is generated to be fully conformal to the envelope (boundary) geometry; no trimming is required, and continuity is better preserved. An example of this situation is provided in Figure 1 [3].

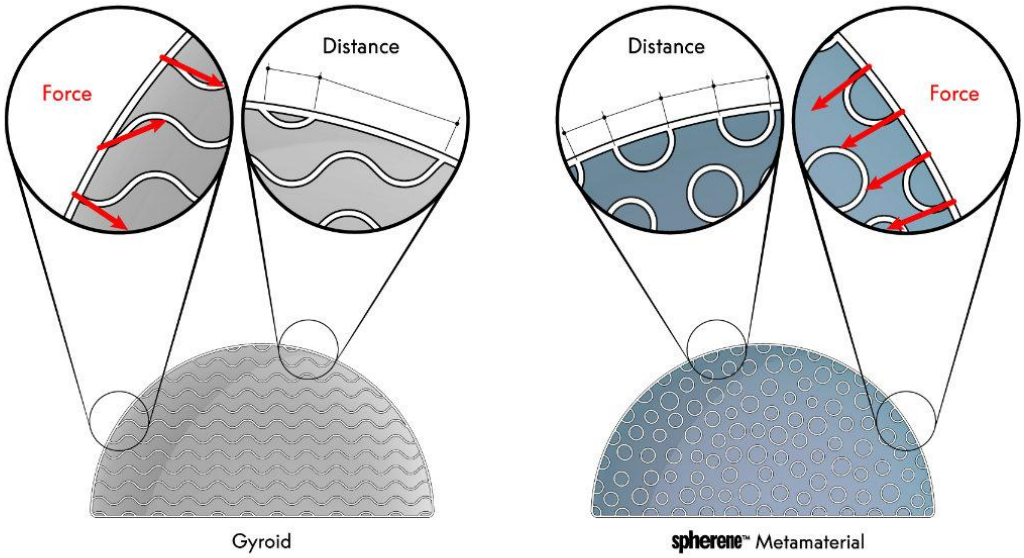


Figure 1: Conformality Difference of Gyroid TPMS vs ADMS

Local density tunability: In TPMS, density variation is achieved through changes in cell size or wall thickness; this may disrupt the minimal-surface form and entails a risk of irregularities in mechanical performance. ADMS, inherently, supports spatially varying density and thickness, and porosity can be controlled in a gradual manner.

Mechanical isotropy: Although TPMS architectures such as the gyroid are periodic along three axes, they may still produce orientation-dependent stiffness differences; this can lead to stress concentrations and weak planes in certain directions. ADMS, in contrast, targets “approximately isotropic” behavior and is expected to exhibit more uniform (direction-independent) performance regardless of the loading direction. Owing to its continuous architecture, it is considered that systematic weak directions under multiaxial loading may be reduced.

Within this framework, ADMS may represent a transition from repeating unit-cell paradigms toward a “design-specific and conformal” minimal-surface generation approach, and thus may constitute a strong candidate among lightweight components that aim for high strength-to-weight ratios in the context of additive manufacturing. The ADMS approach aims to transform material into a metamaterial “from the inside out” by distributing internal geometry in accordance with loading conditions. To evaluate how these conceptual advantages translate into

structural performance, this study comparatively examines an ADMS structure and a gyroid TPMS structure under identical envelope geometry, identical volume, and identical mass conditions.

As the modeling environment, nTop (an implicit modeling software) was used [4]. Since ADMS structures are not a native feature in nTop, the ADMS design function was integrated into the software via an nTop Connector plug-in provided by Spherene [5]. Accordingly, two specimens (one ADMS and one gyroid TPMS) were designed within the same cylindrical envelope and were compared in terms of displacement and stress distributions through finite element analysis (FEA) within the linear-elastic regime.

MATERIALS AND METHODS

In this study, a cylindrical design envelope was used for both the ADMS and TPMS architectures; the specimens were generated and prepared for analysis following the workflow summarized below:

Definition of the design envelope: A cylinder of specified diameter and height was defined as the external specimen geometry. To improve the conditions for compression testing, non-porous, flat, disk-shaped solid regions were retained at the top and bottom faces of the cylinder. These regions were designed to enable post–additive-manufacturing surface finishing (machining/planar correction) in order to ensure parallelism and uniform load transfer.

Generation of the gyroid TPMS: A gyroid TPMS architecture was created within the design volume located in the central section of the cylinder. In the nTop environment, a Cylindrical Cell Map approach was used to arrange gyroid unit cells in a cylindrical-coordinate-based pattern; the resulting structure was then trimmed with the cylindrical envelope to obtain the final geometry. This approach aimed to achieve a more robust distribution and improved conformity at curved boundaries. The gyroid TPMS structure is shown in Figure 2 below.

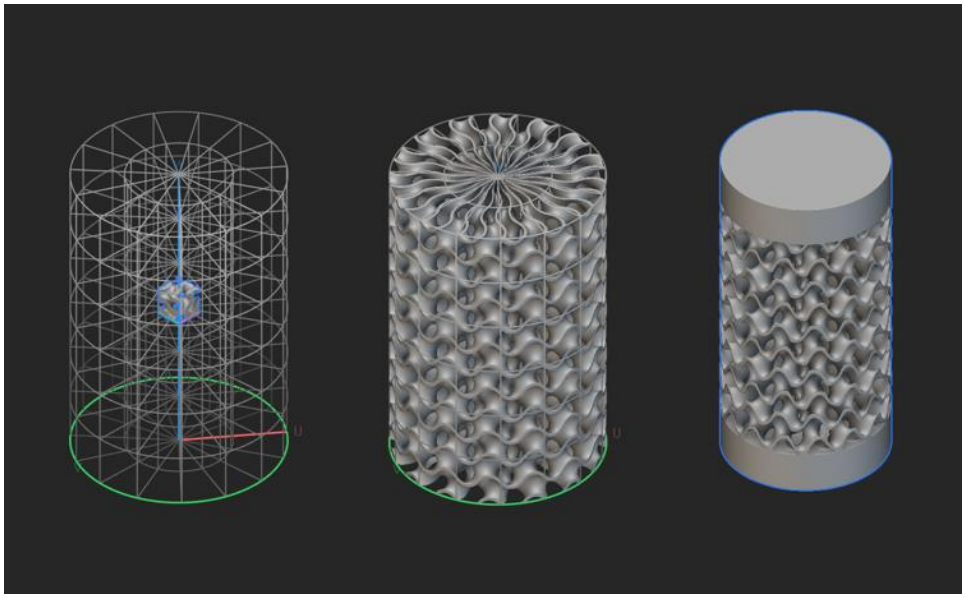


Figure 2: Cylindrical Cell Map and Gyroid TPMS Structure

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Generation of the ADMS: The ADMS design was generated using a Spherene ADMS function block accessed via an nTop Connector. Unlike TPMS, ADMS generation did not require a unit-cell or cell-map definition; the same cylindrical envelope was provided directly as an input, enabling the surface to be created in a manner conformal to the envelope.

Thickness and density matching: For both minimal-surface architectures, the wall thickness was set to 2 mm. To achieve mass matching, the arrangement within the gyroid TPMS Cylindrical Cell Map was iteratively adjusted until its mass was equalized with that of the ADMS specimen. In the final configuration, the mass difference between the two specimens was 0.0042, which was considered negligible. In Figure 3 below, the TPMS and ADMS structures are shown together with the “weight savings” ratio and surface areas.

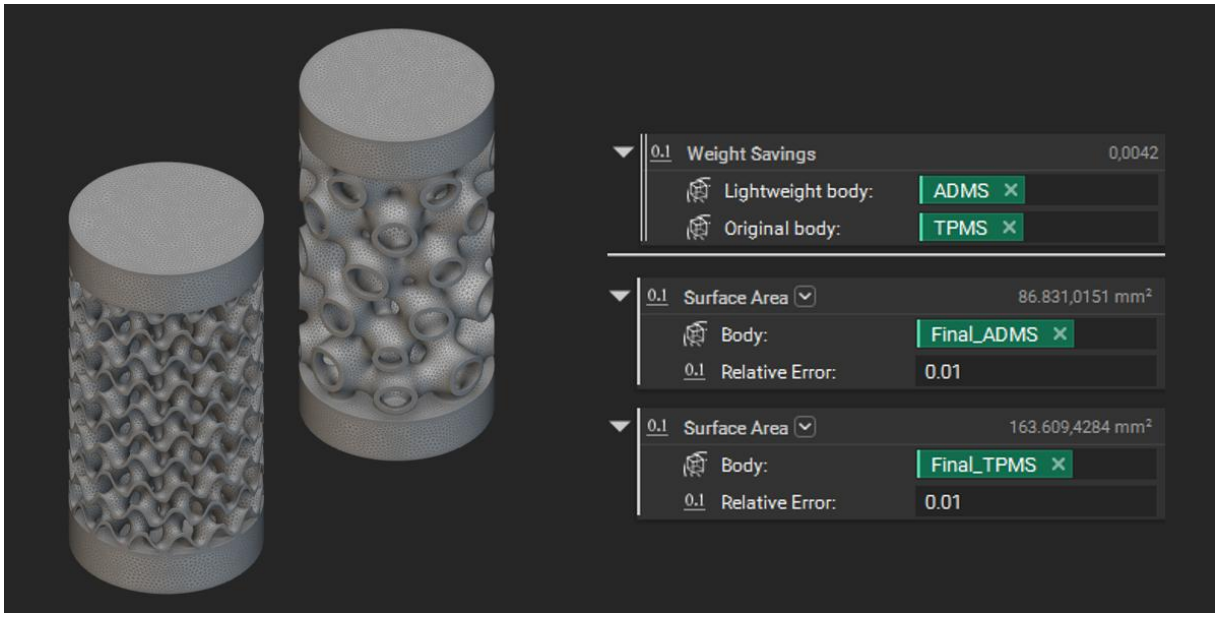


Figure 3: TPMS and ADMS Structures, “Weight Savings” and Surface Areas

Meshing and analysis preparation: A surface mesh was first extracted from the implicit models generated in nTop. Subsequently, a remeshing procedure was applied to bring the surface mesh element size and mesh-quality metrics into a range suitable for analysis, with particular attention to ensuring sufficient mesh resolution in thin features. Based on the surface mesh, a tetrahedral finite-element (FE) volume mesh was generated for each design, and the finite-element model was established. For the compression-test simulation boundary conditions, all degrees of freedom (translations and rotations) at the nodes on the outer surface of the bottom disk were constrained. A downward compressive load was applied to the nodes on the outer surface of the top disk.

Linear static analysis: The load magnitude was selected to remain within the linear-elastic regime where Hooke’s law applies and was kept relatively small; thus, stiffness (elastic deformation), displacement fields, and stress distributions could be evaluated comparatively. This preliminary investigation enables comparison of elastic behavior without accounting for plasticity or geometric nonlinearity. From the analysis outputs, maximum displacement and stress fields were obtained. However, for designs intended to be produced via metal additive manufacturing, plastic deformation will be induced during experimental testing. Therefore, in

subsequent stages, it is planned to evaluate experimentally factors such as the maximum sustainable force and the fracture plane.

Within the scope of this study, nTop's implicit modeling capabilities enabled both designs to be modeled within the same envelope and at the same weight. The ability to integrate ADMS into nTop was critical for conducting the comparison. Moreover, while the literature emphasizes that TPMS architectures can exhibit orientation-dependent mechanical responses, ADMS is expected to provide a more isotropic response. Accordingly, the FEA performed under the same design volume and equal-mass conditions may allow direct observation of how internal architecture influences structural performance.

RESULTS AND CONCLUSIONS

Linear static compression analysis revealed pronounced differences between the ADMS and gyroid TPMS specimens in terms of both displacement response and stress distribution. Stiffness (displacement response): Under the same applied load, the gyroid TPMS specimen exhibited substantially lower deformation than the ADMS specimen. Quantitatively, the maximum displacement of the gyroid was approximately 40% lower than that of the ADMS. This outcome indicates that, for the present configuration, the gyroid TPMS provides higher stiffness (i.e., higher compressive resistance in the elastic regime). It may be interpreted that the gyroid arrangement produced via the cylindrical cell map confers a certain advantage in axial load transfer.

Stress distribution and local concentrations: Examination of the von Mises stress fields showed that the ADMS architecture was able to distribute stresses more homogeneously, with a limited number of pronounced "hot-spot" regions. This observation is consistent with the ADMS design intent of continuity and isotropy. In contrast, the gyroid TPMS exhibited stress concentrations localized in certain thin sections and specific cell regions. Although the gyroid presents smaller and more densely distributed pores, the periodic architecture can generate weak sections for particular orientations, thereby predisposing the structure to local stress intensification. The more continuous surface of ADMS appears to facilitate a more uniform redistribution of load, reducing stress peaks. This observation aligns with assessments suggesting that stress concentrations under loading may be minimized in ADMS designs.

Effects of porosity and surface area: Despite equal mass and envelope volume, a further notable difference was identified between the two specimens in terms of internal architecture. ADMS exhibited larger internal voids; however, its total internal surface area was approximately half that of the gyroid. The gyroid's periodic and dense surface network may increase stiffness by enabling load sharing over a larger surface area at the microstructural scale. Conversely, the larger voids in ADMS may force load to be carried by a more limited number of load-bearing surface segments, thereby leading to a higher maximum displacement. This finding suggests that not only relative density, but also geometric factors such as pore architecture and surface area, can significantly influence the mechanical response.

Overall, the results indicate a trade-off between global stiffness and local stress behavior. In this scenario, the gyroid TPMS offers higher stiffness but is more susceptible to local stress concentrations; ADMS, while achieving a more homogeneous stress distribution, exhibited

higher deformation. From the perspective of isotropic strength requirements under multiaxial loading and uncertain load directions, ADMS may offer distinct advantages. Conversely, for stiffness-driven designs, ADMS may need to be reinforced through density/thickness optimization.

With respect to future work, this study demonstrates that even under identical envelope volume and mass, internal architecture (pore architecture, surface topology, and surface area) can substantially alter mechanical performance. To enable a "purer" geometric comparison, future studies are recommended to vary only the thickness parameter while also equalizing surface area alongside mass. Under such a scenario, differences between ADMS and gyroid TPMS could be interpreted more reliably by reducing the confounding influence of surface-area effects and attributing strength/stiffness differences more directly to the inherent nature of the architectures.

In conclusion, this preliminary study comparatively characterized the structural behavior of ADMS and gyroid TPMS architectures in the linear-elastic regime. It was observed that the gyroid TPMS (with a cylindrical cell map) provided higher stiffness, evidenced by a lower maximum displacement, whereas ADMS reduced local stress concentrations by rendering the stress distribution more uniform. Despite equality in mass and envelope volume, differences in internal surface area and pore morphology were found to markedly affect mechanical performance. Accordingly, designers should optimize not only relative density but also surface area, pore-size distribution, and architectural continuity in an integrated manner. ADMS emerges as a strong candidate for applications requiring isotropic behavior and functionally graded porosity; however, more comprehensive validation is recommended through experimental testing and nonlinear analyses to assess ultimate strength and collapse behavior.

REFERENCES

[1] Wikipedia, "Triply periodic minimal surface." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Triply_periodic_minimal_surface

[2] Wikipedia, "Gyroid." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Gyroid

[3] Spherene, "Spherene | Adaptive Density Minimal Surfaces." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://spherene.io/

[4] nTop, "nTop | Computational Design Software | formerly nTopology." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://www.ntop.com/

[5] NAE Normandie, "Spherene strengthens ADMS ecosystem for additive manufacturing with new software integrations and website relaunch." Accessed: Dec. 22, 2025. [Online]. Available: https://www.nae.fr/spherene-strengthens-adms-ecosystem-for-additive-manufacturing-with-new-software-integrations-and-website-relaunch/

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YAŞLILARDA KIRILGANLIĞIN YAŞAM KALİTESİ İLE İLİŞKİSİ
THE RELATIONSHIP BETWEEN FRAILTY AND QUALITY OF LIFE IN THE ELDERLY

Rukiye DEMİR DİKMEN[1*]

[*1] Öğretim Görevlisi Dr., Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye, rukiyedemir2015@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7236-6672

0 541 802 80 70

ÖZET

Bu araştırmanın amacı yaşlılarda kırılganlığın yaşlıların yaşam kalitesi ile ilişkisinin incelenmesidir. Tanımlayıcı kesitsel türdeki araştırmanın verileri Nisan-Haziran 2025 tarihleri arasında toplandı. Araştırmanın örneklemini 65 yaş üzeri olan 183 birey oluşturdu. Araştırma verileri yüz yüze görüşme yöntemiyle, Bilgi Formu, FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı) ve Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeği (CASP-19) ile toplandı. Verilerin değerlendirilmesinde normallik testleri ve Mann Whitney-U, Kruskall Wallis.testleri kullanıldı. Katılımcıların %68.3'nün 66-76 yaş arasında olduğu, %64.5'inin kadın olduğu, %43.7'sinin ilkokul/ortaokul mezunu olduğu belirlendi. Katılımcıların FAST-TR'den 8.57±3.75 puan aldıkları ve CASP-19'dan 18.87±8.98 puan aldıkları belirlendi. FAST-TR ile eğitim durumu, medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği saptandı. CASP-19 ile yaş, eğitim durumu, medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği saptandı. FAST-TR ve CASP-19 toplam puan ortalamaları arasındaki ilişkiyi belirmek amacı ile yapılan korelasyon analizi sonucunda aralarında negatif yönlü, orta düzeyde, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlendi. Kırılganlığın artmasının yaşam kalitesini olumsuz olarak etkilediği belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Kırılganlık, yaşam kalitesi, sağlık

ABSTRACT

The aim of this research is to examine the relationship of frailty in the elderly with the quality of life of the elderly. Data from the descriptive cross-sectional study was collected from April to June 2025. The sample consisted of 183 individuals over the age of 65. The research data were collected by face-to-face interview method, Information Form, FAST-TR (Vulnerability Assessment and Screening Tool) and Quality of Life Scale in Elderly (CASP-19). Normality tests and Mann Whitney-U, Kruskall Wallis.tests were used in the evaluation of the data. It was determined that 68.3 %of the participants were between the ages of 66-76, 64.5 %were women, 43.7 %were primary/secondary school graduates. Participants scored 3.75 ± 8.57 on the FAST-TR and 8.98 ± 18.87 on the CASP-19. FAST-TR showed that education status, marital status and perceived income status changed significantly. With CASP-19, age,

educational status, marital status, and perceived income status changed significantly. As a result of the correlation analysis conducted to determine the relationship between FAST-TR and CASP-19 total score averages, it was determined that there was a negative, moderate and statistically significant relationship between them. It was determined that increased vulnerability negatively affects the quality of life.

Keywords: Health, Fragility, Quality of Life

GİRİŞ

Kırılganlık yaşlanmayla beraber hastalık ve/veya ölüm riskini artırdığı düşünülen fizyolojik, psikolojik ve bilişsel bozukluğa yol açan bir geriatrik sendromdur (Morley ve ark., 2013; Alqahtani ve ark., 2022; Alpalhão ve ark., 2022). Türkiye'nin de içinde bulunduğu bazı ülkelerde kırılganlığın yaygınlığını inceleyen bir çalışmada kırılganlık %35 olarak belirlenmiştir (Alqahtani ve ark., 2022). Genetik yatkınlık, aile geçmişi, sosyal ve çevresel faktörler, yaşam stresi ve kronik hastalıklar kırılganlığın artmasına sebep olabilir. Buna karşılık, strese karşı dayanıklılığı artıran faktörler arasında olumlu duygular, sosyal ve çevresel faktörler, bilişsel olarak iyi olma, esneklik ve fiziksel egzersiz yer almaktadır (Op Het Veld ve ark., 2019; Carnevale ve ark., 2025).Yaşlanma, sağlık ve sosyal hizmetlerin planlanması ve sunulmasını etkilemektedir. Bakım hizmetlerine olan talebin artmasına yol açmaktadır. 65 yaş üstü nüfusun sağlık ihtiyaçlarının karmaşıklaşması sağlık maliyetlerini arttırmaktadır. Yaşam beklentisindeki artış nedeniyle kırılganlık yaşayan bireylerin oranı da artmaktadır (Gilardi ve ark., 2018).

Kırılganlığın düşme, sakatlık, hastalık ve ölüm gibi olumsuz sağlık durumlarını artırdığı ifade edilmiştir (Si ve ark., 2021; Mao ve ark., 2025). Kırılganlık aynı zamanda önlenebilir bir sendrom olarak bilinmektedir. Bu nedenle kırılganlık oranının ve kırılganlığı etkileyen faktörlerin belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda toplumlarda kırılganlığın erken dönemde saptanması ve risk faktörlerinin saptanıp iyileştirilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir (Kwak ve Thompson, 2020). Kırılganlık uygun ve etkili müdahalelerle tersine çevrilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, kırılganlıkla ilişkili risk faktörlerinin belirlenmesi, belirli bir zaman dilimi içinde hedefli müdahalelerin ve önleyici tedbirlerin uygulanmasına olanak sağladığı için büyük önem taşımaktadır (Moitra ve ark., 2022; Mao ve ark., 2025). Yaşlıların ruh sağlığının korunması da kırılganlığın etkilerini azaltabilmektedir. Yaşlılarda psikolojik iyilik halinin sürdürülmesi sağlıklı yaşlanmanın yanı sıra yaşa bağlı çeşitli rahatsızlıkların görülme sıklığının azalması ve fiziksel işlevlerde gerilemenin yavaşlaması ile yakından ilişkilidir (Kim ve ark., 2019; Fang ve ark., 2025).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YÖNTEM

Araştırmanın Türü

Araştırma tanımlayıcı ve kesitsel tiptedir.

Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman

Araştırma, Nisan-Haziran 2025 tarihleri arasında bir aile hekimliği merkezine başvuran 65 yaş üzeri bireyler ile yürütülmüştür.

Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini Nisan-Haziran 2025 tarihleri arasında bir aile hekimliği merkezine başvuran 65 yaş üzeri bireyler oluşturmuştur. Araştırmanın örneklemini dahil edilme kriterlerine uyan 183 birey oluşmaktadır.

Araştırmaya dahil edilme kriterleri;

- 65 yaş üzeri olan
- Araştırmaya katılıma gönüllü olanlar dahil edilmiştir.

Araştırmadan dışlanma kriterleri;

- Anket formunu yarıda bırakanlar araştırmadan dışlanmıştır.

Veri Toplama Araçları

Araştırma verileri, “Bilgi Formu” ve “FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı)” ve “Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeği (CASP-19)” kullanılarak araştırmacı tarafından yüz yüze toplanmıştır.

Bilgi Formu

Araştırmacı tarafından hazırlanan form cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, algılanan gelir durumu ifadelerini içeren 5 maddeden oluşmaktadır.

FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı)

65 yaş üstü yaşlılarda kırılganlığı ölçmektedir. Türkçe uyarlaması Baş (2023) tarafından gerçekleştirilmiştir. Beslenme, hafıza, hareketlilik, işlevsel durum, mod, fiziksel performans, genel sağlık durumu, ilaç ve çoklu hastalık, kabızlık ve ağrı olmak üzere 10 alt boyut toplam 14 maddeden oluşmaktadır. Tüm ölçek maddeleri evet (1 puan), hayır (0 puan) şeklinde

diktinom tipi puanlanmaktadır. Toplam puan üzerinden 0-4 puan: sağlam; 5-6 puan: kırılganlık öncesi; 7-14 puan: kırılgan olarak değerlendirilmektedir. Ölçeğin Cronbach α katsayısı 0.79 olarak belirlenmiştir (Baş ve ark., 2023). Bu çalışma için Cronbach α katsayısı .84 olarak bulunmuştur.

Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeği (*CASP-19)*

Yaşlıların yaşam kalitelerinin değerlendirilmesinde kullanılan yaşlılarda yaşam kalitesi ölçeği CASP-19 Türk toplumuna Türkoğlu ve Adıbelli (2014) tarafından uyarlanmıştır. Ölçeğin her bir maddesi "hiçbir zaman" yanıtı için 0, "ara sıra" yanıtı için 1, "bazen" yanıtı için 2 ve "her zaman" yanıtı için 3 puan şeklinde derecelendirilmiştir. 1., 2., ve 4. maddeler ters kodlanmaktadır. Toplam puanın yükselmesi yaşam kalitesinin arttığını göstermektedir. Ölçekteki olumlu anlam içeren 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13. maddeler "özerklik ve memnuniyet algısı" alt boyutunu ve olumsuz anlam içeren 1, 2 ve 4. maddeler ise "engel algısı" alt boyutunu oluşturmaktadır. Ölçeğin Cronbach α katsayısı 0.91 olarak belirlenmiştir (Türkoğlu ve Adıbelli, 2014). Bu çalışma için Cronbach α katsayısı 0.92 olarak belirlendi.

Verilerin Toplanması

Araştırmanın yürütülebilmesi için gerekli etik onam ve yazılı kurum izni alındıktan sonra veriler, araştırmacılar tarafından yüz yüze görüşme yöntemi ile toplanmıştır. Bir birey ile görüşme yaklaşık 25 dakika sürmüştür.

Verilerin Değerlendirilmesi

Veriler, IBM SPSS 27 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler birim sayısı, yüzde, ortalama, standart sapma değeri olarak verilmiştir. Veriler, Shapiro-Wilk, Skewness ve Kurtosis normallik testleri ile incelenmiştir. Veriler Mann Whitney-U ve Kruskall Wallis.testleri ile ölçek korelasyonu ise Spearman testi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada anlamlılık $p<0.05$ olarak hesaplanmıştır.

Araştırmanın Etik Boyutu

Araştırmaya başlanılmadan önce Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Etik Kurulu'ndan ve çalışmanın yapıldığı kurumdan yazılı izin alınmıştır. Çalışmaya katılmayı kabul eden bireylere çalışmanın amacı ve çalışmandan istedikleri zaman ayrılabilecekleri açıklanmıştır. Çalışma Helsinki Bildirgesi İlkeleri'ne uygun olarak yürütülmüştür.

BULGULAR

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çalışma bulguları tablolar halinde gösterilmiştir.

Tablo 1. FAST-TR ve CASP-19 Toplam Puan Ortalamalarının Bireylerin Tanımlayıcı Özellikleri Açısından Karşılaştırılması (N=183)

Tanımlayıcı Özellikler				FAST-TR	CASP-19
		Sayı (n)	**Yüzde (%)**	**Ortalama ± Standart Sapma**	**Ortalama ± Standart Sapma**
Yaş Grupları (yıl)	66-76	125	68.3	8.35±3.50	20.43 ±8.35
	77-87	43	23.5	9.04±3.87	16.41 ±9.77
	88 ve üzeri	15	8.2	9.06±5.25	13.00 ±8.14
	Test Değeri			KW=2.407	KW=11.022
	Anlamlılık			p=.300	**p=.004**
Cinsiyet	Erkek	65	35.5	9.16±4.09	17.06 ±10.66
	Kadın	118	64.5	8.24±3.52	19.88 ±7.77
	Test Değeri			MN-U=3195.000	MN-U=3222.000
	Anlamlılık			p=.061	p=.074
Eğitim Durum	Okuryazar değil	71	38.8	9.11±3.18	17.35 ±6.88
	İlkokul /Ortaokul	80	43.7	8.77±3.89	18.16 ±9.88
	Lise	22	12.0	7.22±4.49	22.50 ±9.92
	Üniversite	24	16.6	6.10±3.41	22.50 ±6.15
	Test Değeri			KW=7.930	KW=15.959
	Anlamlılık			**p=.047**	**p=.001***
Medeni Durum	Evli	115	62.8	8.03±3.60	20.40 ±8.41
	Bekar	68	37.2	9.48±3.84	16.30 ±9.37
	Test Değeri			MN-U=2995.000	MN-U=2839.000
	Anlamlılık			**p=.008**	**p=.002**
Algılanan Gelir Durumu	Düşük	41	22.4	10.92±2.90	12.53 ±9.36
	Orta	125	68.3	8.12±3.53	20.42 ±7.62
	Yüksek	17	9.3	6.17±4.51	22.82 ±10.44
	Test Değeri			KW=25.232	KW=26.003
	Anlamlılık			**p=.001***	**p=.001***
	Yaş: Ortalama ± Standart Sapma =				

MN-U: Mann Whitney-U, KW: Kruskall Wallis. FAST-TR: Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı, CASP-19: Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeği *p<0.001

Katılımcıların %68.3'nün 66-76 yaş arasında olduğu, %64.5'inin kadın olduğu, %43.7'sinin ilkokul/ortaokul mezunu olduğu belirlendi. Katılımcıların %62.8'inin evli ve %68.3'ünün algılanan gelir düzeyinin orta olduğu saptandı. FAST-TR ile yaş ve cinsiyetin anlamlı olmadığı ancak eğitim durumu, medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

saptandı. CASP-19 ile cinsiyetin anlamlı olmadığı, yaş, eğitim durumu, medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği saptandı (Tablo 1).

Tablo 2. FAST-TR ve CASP-19 Toplam Puan Ortalamaları Dağılımı (N=183)

Scale	**Min-Max**	**x̄ ±SD**
FAST-TR	0-14	8.57±3.75
CASP-19	0-39	18.87±8.98
CASP-19 Özerklik ve Memnuniyet Algısı Alt Boyutu	0-30	15.18±7.26
CASP-19 Engel Algısı Alt Boyutu	0-9	3.69±2.28

FAST-TR: Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı, CASP-19: Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeği

Ölçeklerden alınan toplam puan ortalamaları Tablo 2'de verilmiştir. Katılımcıların FAST-TR'den 8.57±3.75 puan aldıkları ve CASP-19'dan 18.87±8.98 puan aldıkları belirlendi.

Tablo 3. FAST-TR ve CASP-19 Toplam Puan Ortalamalarının Korelasyonları (N=183)

Ölçek		**Korelasyon****	
		1	2
FAST-TR (1)	r		-.591
	P		**.000***
CASP-19 (2)	r		
	p		

*p<.001 **Spearman korelasyon

FAST-TR ve CASP-19 toplam puan ortalamaları arasındaki ilişkiyi belirmek amacı ile yapılan korelasyon analizi sonucunda aralarında negatif yönlü, orta düzeyde, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlendi. Bu bulgu, bireylerin FAST-TR puanları yükseldikçe yaşam kalitelerinin azaldığını göstermektedir. FAST-TR puanlarının yükselmesinin yaşam kalitesini olumsuz olarak etkilediği belirlendi (Tablo 3).

KAYNAKLAR

Türkoğlu N, Adıbelli D. (2014). Yaşlılarda Yaşam Kalitesi Ölçeğinin (CASP-19) Türk Toplumuna Adaptasyonu Akademik *Geriatri Dergisi, 26*: 98-105

Alpalhão, V., Cordeiro, N., & Pezarat-Correia, P. (2022). Kinesiophobia and Fear Avoidance in Older Adults: A Systematic Review on Constructs and Related Measures. *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, *45*(4), 207–214. https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000354

Alqahtani, B. A., Alshehri, M. M., Elnaggar, R. K., Alsaad, S. M., Alsayer, A. A., Almadani, N., Alhowimel, A., Alqahtani, M., & Alenazi, A. M. (2022). Prevalence of Frailty in the Middle East: Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *10*(1), 108. https://doi.org/10.3390/healthcare10010108

Baş, K. G., Singin, R. H., & Denizci, T. (2023). Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı: Türkçe Adaptasyon, Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, *8*(3), 205-220.

Boudrias, J. S., Montani, F., & Vandenberghe, C. (2021). How and When Does Psychological Wellbeing Contribute to Proactive Performance? The Role of Social Resources and Job Characteristics. *International journal of environmental research and public health*, *18*(5), 2492. https://doi.org/10.3390/ijerph18052492

Carnevale, E., Bisogno, M., Trebbi, E., Donnoli, C., Ciccacci, F., Riccardi, F., Scarcella, P., & Liotta, G. (2025). Assessing changes in frailty status in an elderly population: Analysis of results from the SFGE tool. *PloS one*, *20*(7), e0327227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327227

Coventry, P. A., Brown, J. E., Pervin, J., Brabyn, S., Pateman, R., Breedvelt, J., Gilbody, S., Stancliffe, R., McEachan, R., & White, P. L. (2021). Nature-based outdoor activities for mental and physical health: Systematic review and meta-analysis. *SSM - population health*, *16*, 100934. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100934

Eiroa-Orosa F. J. (2020). Understanding Psychosocial Wellbeing in the Context of Complex and Multidimensional Problems. *International journal of environmental research and public health*, *17*(16), 5937. https://doi.org/10.3390/ijerph17165937

Fang, S., Yi, Z., & Liang, Y. (2025). Changes in psychological well-being among older adults: a latent transition analysis from China. *BMC public health*, *25*(1), 733. https://doi.org/10.1186/s12889-025-21495-z

Gilardi, F., Capanna, A., Ferraro, M., Scarcella, P., Marazzi, M. C., Palombi, L., & Liotta, G. (2018). Frailty screening and assessment tools: a review of characteristics and use in Public Health. *Annali di igiene : medicina preventiva e di comunita*, *30*(2), 128–139. https://doi.org/10.7416/ai.2018.2204

Gümüş Demir, Z. (2022). Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği'nin Geliştirilmesi. Senex Yaşlılık Çalışmaları Dergisi. 6(1), 16-32.

Jabade, M., & Joshi, S. (2024). Determine the psychosocial well-being of elderly residents living in old-age homes. *Journal of education and health promotion*, *13*, 504. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_476_24

Kim, E. S., James, P., Zevon, E. S., Trudel-Fitzgerald, C., Kubzansky, L. D., & Grodstein, F. (2019). Optimism and Healthy Aging in Women and Men. *American journal of epidemiology*, *188*(6), 1084–1091. https://doi.org/10.1093/aje/kwz056

Kwak, D., & Thompson, L. V. (2020). Frailty: Past, present, and future?. *Sports medicine and health science*, *3*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.smhs.2020.11.005

Mao, L., Tian, Y., Zhang, L., Lei, F., Wang, G., He, J., Lin, L., & Peng, D. (2025). Associations between social support and frailty and the mediating role of mental and physical health: evidence from CHARLS. *BMC geriatrics*, *25*(1), 384. https://doi.org/10.1186/s12877-025-06025-1

Moitra, S., Foraster, M., Arbillaga-Etxarri, A., Marín, A., Barberan-Garcia, A., Rodríguez-Chiaradia, D. A., Balcells, E., Koreny, M., Torán-Monserrat, P., Vall-Casas, P., Rodríguez-Roisin, R., & Garcia-Aymerich, J. (2022). Roles of the physical environment in health-related quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Environmental research*, *203*, 111828. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111828

Morley, J. E., Vellas, B., van Kan, G. A., Anker, S. D., Bauer, J. M., Bernabei, R., …… & Walston, J. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, *14*(6), 392–397. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.03.022

Op Het Veld, L. P. M., Beurskens, A. J. H. M., de Vet, H. C. W., van Kuijk, S. M. J., Hajema, K., Kempen, G. I. J. M., & van Rossum, E. (2019). The ability of four frailty screening instruments to predict mortality, hospitalization and dependency in (instrumental) activities of daily living. *European journal of ageing*, *16*(3), 387–394. https://doi.org/10.1007/s10433-019-00502-4

Si, H., Jin, Y., Qiao, X., Tian, X., Liu, X., & Wang, C. (2021). Predictive performance of 7 frailty instruments for short-term disability, falls and hospitalization among Chinese community-dwelling older adults: A prospective cohort study. *International journal of nursing studies*, *117*, 103875. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103875

Zhang, Y. J., Zhang, C., & Lyu, Q. Y. (2025). The association between social frailty, psychological resilience, and subsequent cognitive outcomes in older adults: A prospective cohort study. *The journal of nutrition, health & aging*, *29*(7), 100576. https://doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100576

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YAŞLILARDA KIRILGANLIĞIN PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ ÜZERİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINING THE EFFECT OF FRAILTY ON PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN THE ELDERLY

Rukiye DEMİR DİKMEN[1*]

[*1] Öğretim Görevlisi Dr., Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Bingöl Üniversitesi, Bingöl, Türkiye, rukiyedemir2015@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-7236-6672

0 541 802 80 70

ÖZET

Bu araştırmanın amacı yaşlılarda kırılganlığın yaşlıların psikolojik iyi oluşları üzerine etkisinin incelenmesidir. Tanımlayıcı kesitsel türdeki araştırmanın verileri Mayıs-Haziran 2025 tarihleri arasında toplandı. Araştırmanın örneklemini 65 yaş üzeri olan 124 birey oluşturdu. Araştırma verileri yüz yüze görüşme yöntemiyle, Bilgi Formu, FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı) ve Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği (YPİOÖ) ile toplandı. Verilerin değerlendirilmesinde normallik testleri ve Mann Whitney-U, Kruskall Wallis.testleri kullanıldı. Çalışmaya katılanların %66.1'inin 66-76 yaş arasında olduğu, %64.5'inin kadın olduğu, %42.7'sinin ilkokul/ortaokul mezunu olduğu belirlendi. Katılımcıların FAST-TR'den 8.84±3.46 ve YPİOÖ'den 44.86±12.91 puan aldıkları belirlendi. FAST-TR ve YPİOÖ ile medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği belirlendi. FAST-TR ve YPİOÖ toplam puan ortalamaları arasındaki ilişkiyi belirmek amacı ile yapılan korelasyon analizi sonucunda aralarında negatif yönlü, orta düzeyde, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlendi. Bu bulgu, bireylerin FAST-TR puanları yükseldikçe psikolojik iyi oluş düzeylerinin azaldığını göstermektedir. Bu sonuçlar kırılganlık ile psikolojik iyi oluş arasındaki ilişkinin önemini ortaya çıkarmıştır. Bireylerin psikolojik iyi oluşlarının artırılması için işlevsel becerilerin desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kırılganlık, psikolojik iyi oluş, sağlık

ABSTRACT

The aim of this research is to examine the effect of vulnerability in the elderly on the psychological well-being of the elderly. Data from the descriptive cross-sectional study was collected from May to June 2025. The sample of the study consisted of 124 individuals over the age of 65. The research data were collected by face-to-face interview method, Information Form, FAST-TR (Vulnerability Assessment and Screening Tool) and Psychological Well-Being Scale in the Elderly (YPSÖ). Normality tests and Mann Whitney-U, Kruskall Wallis.tests were used in the evaluation of the data. It was determined that 66.1 %of the participants were between the ages of 66-76, 64.5 %were women, and 42.7 %were

primary/secondary school graduates. Participants scored 8.84 ± 3.46 on the FAST-TR and 44.86 ± 12.91 on the YPPI. It was determined that the marital status and perceived income status changed significantly with FAST-TR and YPPI. As a result of the correlation analysis with the aim of determining the relationship between FAST-TR and YPPI total score averages, it was determined that there was a negative, moderate and statistically significant relationship between them. This finding suggests that as individuals' FAST-TR scores increase, their levels of psychological well-being decrease. These results revealed the importance of the relationship between vulnerability and psychological well-being. It points out that functional skills should be supported in order to increase the psychological well-being of individuals.

Keywords: Health, Fragility, psychological well-being

GİRİŞ

Kırılganlık yaşlanmayla beraber fizyolojik sistemlerde gerilemeden kaynaklanan, stresörlerle başa çıkma yeteneğini tehlikeye atabilen, bağımlılık, hastalık ve/veya ölüm riskini artırdığı düşünülen fizyolojik, psikolojik ve bilişsel bozukluğa yol açan bir geriatrik sendromdur (Morley ve ark., 2013; Alqahtani ve ark., 2022; Alpalhão ve ark., 2022). Türkiye'nin de içinde bulunduğu bazı ülkelerde kırılganlığın yaygınlığını inceleyen bir çalışmada kırılganlık %35 olarak belirlenmiştir (Alqahtani ve ark., 2022). Genetik yatkınlık, aile geçmişi, sosyal ve çevresel faktörler, yaşam stresi ve kronik hastalıklar kırılganlığın artmasına sebep olabilir. Buna karşılık, strese karşı dayanıklılığı artıran faktörler arasında olumlu duygular, sosyal ve çevresel faktörler, bilişsel olarak iyi olma, esneklik ve fiziksel egzersiz yer almaktadır (Op Het Veld ve ark., 2019; Carnevale ve ark., 2025).Yaşlanma, sağlık ve sosyal hizmetlerin planlanması ve sunulmasını etkilemektedir. Bakım hizmetlerine olan talebin artmasına yol açmaktadır. 65 yaş üstü nüfusun sağlık ihtiyaçlarının karmaşıklaşması sağlık maliyetlerini arttırmaktadır. Yaşam beklentisindeki artış nedeniyle kırılganlık yaşayan bireylerin oranı da artmaktadır (Gilardi ve ark., 2018). Kırılganlığın düşme, sakatlık, hastalık ve ölüm gibi olumsuz sağlık durumlarını artırdığı ifade edilmiştir (Si ve ark., 2021; Mao ve ark., 2025). Kırılganlık aynı zamanda önlenebilir bir sendrom olarak bilinmektedir. Bu nedenle kırılganlık oranının ve kırılganlığı etkileyen faktörlerin belirlenmesi önemlidir. Bu bağlamda toplumlarda kırılganlığın erken dönemde saptanması ve risk faktörlerinin saptanıp iyileştirilmesi için çalışmalar yapılması gerekmektedir (Kwak ve Thompson, 2020).

Kırılganlık uygun ve etkili müdahalelerle tersine çevrilme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, kırılganlıkla ilişkili risk faktörlerinin belirlenmesi, belirli bir zaman dilimi içinde hedefli müdahalelerin ve önleyici tedbirlerin uygulanmasına olanak sağladığı için büyük önem

taşımaktadır (Moitra ve ark., 2022; Mao ve ark., 2025). Yaşlıların ruh sağlığının korunması da kırılganlığın etkilerini azaltabilmektedir. Yaşlılarda psikolojik iyilik halinin sürdürülmesi sağlıklı yaşlanmanın yanı sıra yaşa bağlı çeşitli rahatsızlıkların görülme sıklığının azalması ve fiziksel işlevlerde gerilemenin yavaşlaması ile yakından ilişkilidir (Kim ve ark., 2019; Fang ve ark., 2025). "Psikososyal iyilik bireylerde zihinsel ve duygusal refahı destekleyen sosyal ve psikolojik unsurlar arasındaki karmaşık etkileşimi ifade eder" (Eiroa-Orosa, 2020). Psikolojik iyilik halinin iyi olmaması veya zayıflamış olması ise ruhsal rahatsızlıkların artışına, yaşam kalitesinin düşmesine, bakım ihtiyacının artmasına, yüksek ekonomik ve sosyal maliyetlere ve hatta ölüme yol açabilmektedir (Coventry ve ark., 2021; Fang ve ark., 2025). Psikolojik iyilik halinin iyi olması olumsuz stres faktörlerine ve hastalıklara karşı koruyucu bir mekanizma olarak görev yapabilir (Zhang ve ark., 2025). Psikolojik iyilik hali bireylerin kendi potansiyellerini gerçekleştirebilmelerine, günlük zorluklarla başa çıkabilmelerine, üretkenliğin devam etmesine ve içinde yaşadıkları topluma faydalı olmalarına destek olur. Daha yüksek iyilik haline sahip kişilerin genellikle depresyon ve intihar oranlarının daha düşük olduğu bilinmektedir. Bu durum, yaşlandıkça psikolojik iyilik halinin korunması gerektiğini açıklamaktadır (Boudrias ve ark., 2021; Jabade ve Joshi, 2024).

YÖNTEM

Araştırmanın Türü

Araştırma tanımlayıcı ve kesitsel tiptedir.

Araştırmanın Yapıldığı Yer ve Zaman

Araştırma, Mayıs-Haziran 2025 tarihleri arasında bir aile hekimliği merkezine başvuran 65 yaş üzeri bireyler ile yürütülmüştür.

Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini Mayıs-Haziran 2025 tarihleri arasında bir aile hekimliği merkezine başvuran 65 yaş üzeri bireyler oluşturmuştur. Araştırmanın örneklemini dahil edilme kriterlerine uyan 124 birey oluşmaktadır.

Araştırmaya dahil edilme kriterleri;

- 65 yaş üzeri olan
- Araştırmaya katılıma gönüllü olanlar dahil edilmiştir.

Araştırmadan dışlanma kriterleri;

- Anket formunu yarıda bırakanlar araştırmadan dışlanmıştır.

Veri Toplama Araçları

Araştırma verileri, "Bilgi Formu" ve "FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı)" ve "Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği (YPİOÖ)" kullanılarak araştırmacı tarafından yüz yüze toplanmıştır.

Bilgi Formu

Araştırmacı tarafından literatür incelenerek hazırlanan form cinsiyet, yaş, medeni durum, eğitim düzeyi, algılanan gelir durumu ifadelerini içeren 5 maddeden oluşmaktadır.

FAST-TR (Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı)

65 yaş üstü yaşlılarda kırılganlığı ölçmektedir. Türkçe uyarlaması Baş (2023) tarafından gerçekleştirilmiştir. Beslenme, hafıza, hareketlilik, işlevsel durum, mod, fiziksel performans, genel sağlık durumu, ilaç ve çoklu hastalık, kabızlık ve ağrı olmak üzere 10 alt boyut toplam 14 maddeden oluşmaktadır. Tüm ölçek maddeleri evet (1 puan), hayır (0 puan) şeklinde diktinom tipi puanlanmaktadır. Toplam puan üzerinden 0-4 puan: sağlam; 5-6 puan: kırılganlık öncesi; 7-14 puan: kırılgan olarak değerlendirilmektedir. ölçeğin Cronbach α katsayısı 0.79 olarak belirlenmiştir. (Baş ve ark., 2023). Bu çalışma için Cronbach α katsayısı .81 olarak bulunmuştur.

Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği (YPİOÖ)

Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği yaşlı bireylerde mutluluğu ve iyi oluşu ölçmek amacı ile Gümüş Demir tarafından (2022) geliştirilmiştir. Ölçek 5'li likert bir yanıtlama sistemine sahiptir. Ölçekte 8. ve 13. maddeler ters kodlanmaktadır. Ölçekten alınabilecek minimum puan 15 ve maksimum puan 75'tir. Ölçeğin puanlaması doğrultusunda yaşlılarda iyi oluş düzeyine ilişkin kesme puanı belirlenmemiştir. Yükselen puanlar iyi oluş düzeyinde yükselişe işaret etmektedir. Ölçeğin Cronbach α katsayısı 0,89'dur (Gümüş Demir, 2022). Bu çalışma için ölçeğin Cronbach α katsayısı 0,94 olarak bulunmuştur.

Verilerin Toplanması

Araştırmanın yürütülebilmesi için gerekli etik onam ve yazılı kurum izni alındıktan sonra veriler, araştırmacılar tarafından yüz yüze görüşme yöntemi ile toplanmıştır. Bir birey ile görüşme yaklaşık 25 dakika sürmüştür.

Verilerin Değerlendirilmesi

Veriler, IBM SPSS 27 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) istatistik paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler birim sayısı, yüzde, ortalama, standart sapma değeri olarak verilmiştir. Veriler, Shapiro-Wilk, Skewness ve Kurtosis normallik testleri ile incelenmiştir. Veriler Mann Whitney-U ve Kruskall Wallis.testleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada anlamlılık $p<0.05$ olarak hesaplanmıştır.

Araştırmanın Etik Boyutu

Araştırmaya başlanılmadan önce Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar ve Yayın Etiği Etik Kurulu'ndan ve çalışmanın yapıldığı kurumdan yazılı izin alınmıştır. Çalışmaya katılmayı kabul eden bireylere çalışmanın amacı ve çalışmandan istedikleri zaman ayrılabilecekleri açıklanmıştır. Çalışma Helsinki Bildirgesi İlkeleri'ne uygun olarak yürütülmüştür.

BULGULAR

Çalışma bulguları tablolar halinde gösterilmiştir.

Tablo 1. FAST-TR ve YPİOÖ Toplam Puan Ortalamalarının Bireylerin Tanımlayıcı Özellikleri Açısından Karşılaştırılması (N=124)

Tanımlayıcı Özellikler				FAST-TR	YPİOÖ
		Sayı (n)	**Yüzde (%)**	**Ortalama ± Standart Sapma**	**Ortalama ± Standart Sapma**
Yaş Grupları (yıl)	66-76	82	66.1	8.43±3.36	46.09 ±11.77
	77-87	32	25.8	9.75±3.04	42.87 ±15.00
	88 ve üzeri	10	8.1	9.30±5.05	41.10 ±14.51
	Test Değeri			KW=3.523	KW=2.555
	Anlamlılık			p=.172	p=.279
Cinsiyet	Erkek	44	35.5	9.36±3.80	42.45 ±16.16
	Kadın	80	64.5	8.56±3.25	46.18 ±10.60
	Test Değeri			MN-U=1495.500	MN-U=1436.500
	Anlamlılık			p=.165	p=.091
Eğitim Durum	Okuryazar değil	48	38.7	9.06±2.89	44.64 ±10.01

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	İlkokul /Ortaokul	53	42.7	9.16±3.54	42.96±14.47
	Lise	16	12.9	8.06±4.43	47.56±13.98
	Üniversite	7	5.6	6.71±3.81	54.57±7.97
	Test Değeri			KW=3.298	KW=6.421
	Anlamlılık			p=.348	p=.093
Medeni Durum	Evli	72	58.1	8.18±3.25	47.04 ±12.48
	Bekar	52	41.9	9.76±3.56	41.84 ±13.01
	Test Değeri			MN-U=1362.500	MN-U=1446.500
	Anlamlılık			**p=.010**	**p=.031**
Algılanan Gelir Durumu	Düşük	30	24.2	11.20±2.70	35.10 ±13.33
	Orta	87	70.2	8.20±3.37	47.51 ±11.03
	Yüksek	7	5.6	6.71±2.98	53.71 ±11.96
	Test Değeri			KW=21.018	KW=22.726
	Anlamlılık			**p=.000***	**p=.000***
	Yaş: Ortalama ± Standart Sapma = 73.93±7.37				

MN-U: Mann Whitney-U, KW: Kruskall Wallis. FAST-TR: Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı, YPİOÖ: Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği *p<0.001

Katılımcıların %66.1'inin 66-76 yaş arasında olduğu, %64.5'inin kadın olduğu, %42.7'sinin ilkokul/ortaokul mezunu olduğu belirlendi. Katılımcıların %58.1'inin evli ve %70.2'sinin algılanan gelir düzeyinin orta olduğu saptandı. İstatistik inceleme sonuçlarına göre FAST-TR ve YPİOÖ ile yaş, cinsiyet ve eğitim durumunun anlamlı olmadığı saptandı. FAST-TR ve YPİOÖ ile medeni durum ve algılanan gelir durumunun anlamlı olarak değiştiği saptandı (Tablo 1).

Tablo 2. FAST-TR ve YPİOÖ Toplam Puan Ortalamaları Dağılımı (N=124)

Ölçek	**Min-Max**	**Ortalama ± Standart Sapma**
FAST-TR	0-14	8.84±3.46
YPİOÖ	15-75	44.86±12.91

Ölçeklerden alınan toplam puan ortalamaları Tablo 2'de verilmiştir. Katılımcıların FAST-TR'den 8.84±3.46 puan aldıkları ve YPİOÖ'den 44.86±12.91 puan aldıkları belirlendi.

Tablo 3. FAST-TR ve YPİOÖ Toplam Puan Ortalamalarının Korelasyonları (N=124)

Ölçek		**Korelasyon****	
		1	2
FAST-TR	r		-.589

	P	**0.01***
YPİOÖ	r	
	p	

*p<0.001 **Spearman korelasyon

FAST-TR ve YPİOÖ toplam puan ortalamaları arasındaki ilişkiyi belirmek amacı ile yapılan korelasyon analizi sonucunda aralarında negatif yönlü, orta düzeyde, istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlendi. Bu bulgu, bireylerin FAST-TR puanları yükseldikçe psikolojik iyi oluş düzeylerinin azaldığını göstermektedir. FAST-TR puanlarının yükselmesinin psikolojik iyi oluşu olumsuz yönde etkilediği belirlendi (Tablo 3).

KAYNAKLAR

Alpalhão, V., Cordeiro, N., & Pezarat-Correia, P. (2022). Kinesiophobia and Fear Avoidance in Older Adults: A Systematic Review on Constructs and Related Measures. *Journal of geriatric physical therapy (2001)*, *45*(4), 207–214. https://doi.org/10.1519/JPT.0000000000000354

Alqahtani, B. A., Alshehri, M. M., Elnaggar, R. K., Alsaad, S. M., Alsayer, A. A., Almadani, N., Alhowimel, A., Alqahtani, M., & Alenazi, A. M. (2022). Prevalence of Frailty in the Middle East: Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *10*(1), 108. https://doi.org/10.3390/healthcare10010108

Baş, K. G., Singin, R. H., & Denizci, T. (2023). Kırılganlık Değerlendirme ve Tarama Aracı: Türkçe Adaptasyon, Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, *8*(3), 205-220.

Boudrias, J. S., Montani, F., & Vandenberghe, C. (2021). How and When Does Psychological Wellbeing Contribute to Proactive Performance? The Role of Social Resources and Job Characteristics. *International journal of environmental research and public health*, *18*(5), 2492. https://doi.org/10.3390/ijerph18052492

Carnevale, E., Bisogno, M., Trebbi, E., Donnoli, C., Ciccacci, F., Riccardi, F., Scarcella, P., & Liotta, G. (2025). Assessing changes in frailty status in an elderly population: Analysis of results from the SFGE tool. *PloS one*, *20*(7), e0327227. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327227

Coventry, P. A., Brown, J. E., Pervin, J., Brabyn, S., Pateman, R., Breedvelt, J., Gilbody, S., Stancliffe, R., McEachan, R., & White, P. L. (2021). Nature-based outdoor activities for mental and physical health: Systematic review and meta-analysis. *SSM - population health*, *16*, 100934. https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100934

Eiroa-Orosa F. J. (2020). Understanding Psychosocial Wellbeing in the Context of Complex and Multidimensional Problems. *International journal of environmental research and public health*, *17*(16), 5937. https://doi.org/10.3390/ijerph17165937

Fang, S., Yi, Z., & Liang, Y. (2025). Changes in psychological well-being among older adults: a latent transition analysis from China. *BMC public health*, *25*(1), 733. https://doi.org/10.1186/s12889-025-21495-z

Gilardi, F., Capanna, A., Ferraro, M., Scarcella, P., Marazzi, M. C., Palombi, L., & Liotta, G. (2018). Frailty screening and assessment tools: a review of characteristics and use in Public Health. *Annali di igiene : medicina preventiva e di comunita*, *30*(2), 128–139. https://doi.org/10.7416/ai.2018.2204

Gümüş Demir, Z. (2022). Yaşlılarda Psikolojik İyi Oluş Ölçeği'nin Geliştirilmesi. Senex Yaşlılık Çalışmaları Dergisi. 6(1), 16-32.

Jabade, M., & Joshi, S. (2024). Determine the psychosocial well-being of elderly residents living in old-age homes. *Journal of education and health promotion*, *13*, 504. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_476_24

Kim, E. S., James, P., Zevon, E. S., Trudel-Fitzgerald, C., Kubzansky, L. D., & Grodstein, F. (2019). Optimism and Healthy Aging in Women and Men. *American journal of epidemiology*, *188*(6), 1084–1091. https://doi.org/10.1093/aje/kwz056

Kwak, D., & Thompson, L. V. (2020). Frailty: Past, present, and future?. *Sports medicine and health science*, *3*(1), 1–10. https://doi.org/10.1016/j.smhs.2020.11.005

Mao, L., Tian, Y., Zhang, L., Lei, F., Wang, G., He, J., Lin, L., & Peng, D. (2025). Associations between social support and frailty and the mediating role of mental and physical health: evidence from CHARLS. *BMC geriatrics*, *25*(1), 384. https://doi.org/10.1186/s12877-025-06025-1

Moitra, S., Foraster, M., Arbillaga-Etxarri, A., Marín, A., Barberan-Garcia, A., Rodríguez-Chiaradia, D. A., Balcells, E., Koreny, M., Torán-Monserrat, P., Vall-Casas, P., Rodríguez-Roisin, R., & Garcia-Aymerich, J. (2022). Roles of the physical environment in health-related quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Environmental research*, *203*, 111828. https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111828

Morley, J. E., Vellas, B., van Kan, G. A., Anker, S. D., Bauer, J. M., Bernabei, R., …… & Walston, J. (2013). Frailty consensus: a call to action. *Journal of the American Medical Directors Association*, *14*(6), 392–397. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.03.022

Op Het Veld, L. P. M., Beurskens, A. J. H. M., de Vet, H. C. W., van Kuijk, S. M. J., Hajema, K., Kempen, G. I. J. M., & van Rossum, E. (2019). The ability of four frailty screening instruments to predict mortality, hospitalization and dependency in (instrumental) activities of daily living. *European journal of ageing*, *16*(3), 387–394. https://doi.org/10.1007/s10433-019-00502-4

Si, H., Jin, Y., Qiao, X., Tian, X., Liu, X., & Wang, C. (2021). Predictive performance of 7 frailty instruments for short-term disability, falls and hospitalization among Chinese community-dwelling older adults: A prospective cohort study. *International journal of nursing studies*, *117*, 103875. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103875

Zhang, Y. J., Zhang, C., & Lyu, Q. Y. (2025). The association between social frailty, psychological resilience, and subsequent cognitive outcomes in older adults: A prospective cohort study. *The journal of nutrition, health & aging*, *29*(7), 100576. https://doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100576

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SOSYAL DESTEĞİN ÖRGÜTSEL DESTEĞE VE ÖRGÜTSEL GÜVENE ETKİSİ: SAĞLIK ÇALIŞANLARI ÜZERİNE BİR UYGULAMA

Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ
Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5642-6498
yalcinkaragoz@duzce.edu.tr, 0553 0332996

Doç. Dr. Fuat YALMAN
Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1041-1837
fuatyalman@duzce.edu.tr, 0506 4603437

ÖZET

Bu araştırmanın temel amacı, sosyal desteğin örgütsel desteğe ve örgütsel güvene etkisini tespit etmektir. Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 342 sağlık çalışanından meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Sosyal desteğin örgütsel güvene etkisi önemlidir (P=0,037<,05). Etki derecesi pozitif yönlüdür (0,402). Yani sosyal destek bir birim artığında örgütsel güven de 0,402 kat artacaktır. Benzer şekilde sosyal desteğin örgütsel desteğe etkisi önemlidir (P=0,017<,05). Etki derecesi pozitif yönlüdür (0,675). Yani sosyal destek bir birim artığında örgütsel destek te 0,675 kat artacaktır. Elde edilen sonuçlara göre; sosyal desteğin örgütsel güvene etkisi önemli olduğundan, sosyal destek artarsa, örgütsel güven de artacak veya sosyal destek azalırsa, örgütsel güven de azalacaktır. Benzer biçimde sosyal desteğin, örgütsel desteğe etkisi önemli olduğundan, sosyal destek artarsa, örgütsel destek de artacak veya sosyal destek azalırsa, örgütsel destek de azalacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Destek, Örgütsel Destek, Örgütsel Güven

THE EFFECT OF SOCIAL SUPPORT ON ORGANIZATIONAL SUPPORT AND ORGANIZATIONAL TRUST: AN APPLICATION ON HEALTHCARE WORKERS

ABSTRACT

The main objective of this study is to determine the effect of social support on organizational support and organizational trust. The research population consisted of healthcare professionals working in a university hospital. The sample group included 342 healthcare workers. A questionnaire form was administered to the participants through face-to-face interviews. IBM SPSS 23 and AMOS statistical analysis programs were used to analyze the dataset within the scope of the study. The effect of social support on organizational trust was found to be significant (P=0.037<.05). The effect level was positive (0.402). In other words, when social support increases by one unit, organizational trust increases by 0.402 times. Similarly, the effect of social support on organizational support was found to be significant (P=0.017<.05). The effect level was positive (0.675). In other words, when social support increases by one unit, organizational support increases by 0.675 times. According to the results, since the effect of social support on organizational trust is significant, if social support increases, organizational trust will also increase; if social support decreases, organizational trust will decrease. Likewise, since the effect of social support on organizational support is significant, if social support increases, organizational support will also increase; if social support decreases, organizational support will decrease.

Keywords: Social Support, Organizational Support, Organizational Trust

GİRİŞ

Algılanan örgütsel destek, “örgütün çalışanların katkılarına ne kadar değer verdiği ve onların refahını ne kadar önemsediği konusundaki inançlar” anlamına gelir (Eisenberger vd., 1986). Örgütsel destek teorisindeki merkezi yapı, algılanan örgütsel desteğin, çalışanların iş organizasyonunun refahlarına ne kadar değer verdiğini ve önemsediğini düşündükleri derecesini ifade eder (Rhoades ve Eisenberger 2002). Örgütsel destek teorisi, çalışanların, örgütün artan iş çabalarını ödüllendirme ve sosyo-duygusal ihtiyaçları karşılama istekliliğini belirlemek için, örgütün katkılarını ve refahını ne kadar değer verdiğine dair genel inançlar geliştirdiklerini varsayar (Shore ve Shore, 1995). Örgütsel destek teorisine göre, algılanan örgütsel destek, büyük ölçüde çalışanların olumlu veya olumsuz muamelenin ardındaki örgütün niyetine atfettikleri anlamlara bağlıdır (Kurtessis vd., 2017). Örgütsel destek teorisine göre, bireyler, örgütün katkılarını ne kadar takdir ettiği ve refahlarını ne kadar önemsediği konusunda genel bir algı geliştirirler (Eisenberger ve Stinglhamber, 2011).

Buna ek olarak, örgütsel destek teorisi; çalışan-örgütsel ilişkiye bireyin bakış açısından bakmanın potansiyel değeri, algılanan örgütsel destek yapısının netliği ve algılanan örgütsel desteğin duygusal örgütsel bağlılık, iş tatmini ve diğer tutumsal sonuçlarla olan güçlü ilişkileri (Kurtessis vd., 2017). Örgütsel destek teorisi, algılanan örgütsel desteğin sonuçlarının altında yatan psikolojik süreçleri de ele alır. İlk olarak, karşılıklılık normu ile algılanan örgütsel destek, örgütün refahını önemseme ve örgütün hedeflerine ulaşmasına yardımcı olma konusunda algılanan bir yükümlülük oluşturmalıdır. İkinci olarak, algılanan örgütsel destek tarafından ifade edilen özen, onay ve saygı, sosyo-duygusal ihtiyaçları karşılamalı ve çalışanları örgütsel üyelik ve rol statüsünü sosyal kimliklerine dahil etmeye yönlendirmelidir. Üçüncü olarak, algılanan örgütsel destek, örgütün artan performansı tanıdığı ve ödüllendirdiği yönündeki çalışanların inancını güçlendirmelidir. Bu süreçlerin hem bireyler hem de örgüt için olumlu sonuçları olmalıdır (Rhoades ve Eisenberger, 2002).

Bu çalışmanın amaçları doğrultusunda, örgütsel güven, "bir kişinin, bir örgüt içindeki belirli diğer kişilerin niteliklerine ve yeteneklerine olan genel inancı ve güveni ile onlara bağımlı olma ve onlara karşı savunmasız olma istekliliği" olarak tanımlanmaktadır (Tanner, 2007). Örgütsel dinamiklerin önemli bir bileşeni olan güven, örgütsel sonuçların başarısını etkileyen önemli bir değişkendir. Bu arzu edilen örgütsel özellik, çalışanların iş tutumu ve iş tatmini ile de pozitif bir ilişki içindedir (Aryee vd., 2002).

Örgütsel güven, başarılı bir örgüt oluşturmanın önemli bir unsuru olarak tanımlanmıştır. Örgütsel açıdan bakıldığında, örgütsel güven ne kadar yüksekse, çalışanlar o kadar memnun ve üretken olma eğilimindedir. Burada örgüt için zorluk, bu tür bir örgütsel güveni sağlayabilme becerisinde yatmaktadır. Özellikle, çalışanların örgüte duyduğu güven düzeyi, sağlık sektöründe ve sunulan bakımın kalitesinde önemli sonuçlar ve etkiler doğurmaktadır. Bu nedenle, "hangi davranışların veya süreçlerin güvenin performans avantajlarını sağladığını" araştırmak özellikle önemlidir (Bijlsma-Frankema vd., 2008). Değişim ve yeniliğin günlük organizasyonel uygulamaların sürekli gerçekleri olduğu bir sektörde, sağlık sektörü organizasyonel güveni hem potansiyel bir kısıtlama hem de istenen sonuçlara ulaşmada bir açıklayıcı olarak kesinlikle tanımalıdır. Bu nedenle, organizasyonel insan kaynakları uygulamaları ve politikaları ile yöneticiler, organizasyon içinde bireysel ilişkilerin kurulmasına ve sürdürülmesine daha fazla önem vermelidir (Six ve Skinners, 2010).

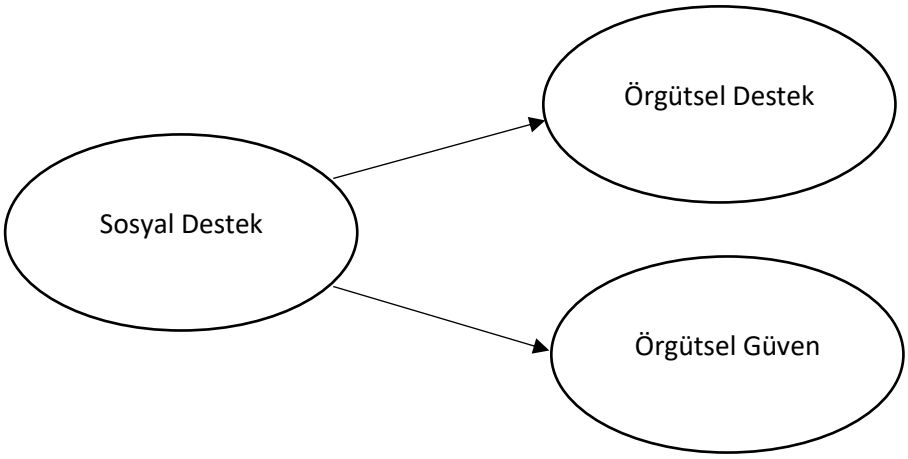
Dönüşümsel liderlik paradigması üzerine yapılan araştırmalar oldukça umut verici sonuçlar ortaya koymuştur. Örneğin, Bryman (1992) dönüşümsel lider davranışlarının çalışanların memnuniyeti, kendi bildirdikleri çaba ve iş performansı ile pozitif ilişkili olduğunu gösteren çeşitli örgütsel çalışmaları örnek olarak vermektedir. Dönüşümsel liderlik davranışları ve dönüşümsel liderler, dönüşümsel olmayan liderlere göre daha memnun takipçilere sahiptir. Bu, güçlü ve tutarlı bir bulgu ve sonuçtur. İki meta-analiz (Lowe vd., 1996; Dumdum vd., 2002) dönüşümsel liderliğin tüm bileşenleri ile çalışan memnuniyeti ölçümleri arasında çok güçlü ortalama korelasyonlar olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, koşullu ödül ve memnuniyet arasındaki ortalama korelasyonlar biraz daha zayıftır ve takipçilerin memnuniyeti, istisnai durumlarda yönetim ve serbest bırakma liderliği ile negatif korelasyon gösterme eğilimindedir. Buradan hareketle bu araştırmanın temel amacı, sosyal desteğin örgütsel desteğe ve örgütsel

güvene etkisini tespit etmektir. Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 342 sağlık çalışanından meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

YÖNTEM

Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Sosyal desteğin örgütsel desteğe ve örgütsel güvene etkisini yapısal eşitlik modellemesi tekniği ile ortaya koymak araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Araştırmanın modeli, araştırmanın temel arasındaki nedensellik ilişkisini tartışmaktadır. Araştırmanın kavramsal modeli arasındaki yapısal ilişkiler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Araştırmanın Kavramsal Modeli

Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 342 sağlık çalışanından meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

Veri Toplama Yöntemi

Nicel araştırma yönteminin kullanıldığı araştırmada veriler yüz yüze anket yöntemi ile toplanmıştır. Örneklem grubunu ise 342 sağlık çalışanı oluşturmuştur. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

İstatistiksel Analizler

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 27 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Çalışmanın analizinde yapısal eşitlik modellemesi (YEM) yöntemlerinden olan yol (path) analizi kullanılmıştır.

BULGULAR

Araştırma Verilerinin Güvenilirliği

Araştırma verilerinin güvenilirliğinin sağlanması için, madde-toplam korelasyonuna dayalı madde analizi uygulanmıştır. Sosyal Destek=935, Örgütsel Destek=,848, Örgütsel Güven=,880 bulunmuştur.

Demografik Bulgular ve Farklılık Analizleri

Araştırmaya katılan bireylerin demografik özellikleri ile faktörler arasındaki farklılık analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ve Farklılık Analizleri

			Sosyal Destek		**Örgütsel Destek**		**Örgütsel Güven**	
	N	%	t^a/F^b	p^c	t^a/F^b	p^c	t^a/F^b	p^c
Cinsiyet								
Erkek	159	46,5	-1,680	0,094	-0,647	0,518	-1,165	0,245
Kadın	183	53,5						
Yaş								
18-25	65	19,0						
26-35	86	25,1	1,971	0,098	2,354	0,054	2,330	0,056
36-45	67	19,6						
46-55	67	19,6						
56 ve üzeri	57	16,7						
Eğitim								
İlköğretim	70	20,5						
Üniversite	112	32,7	8,002	0,000	3,327	0,020	1,361	0,255
Yüksek Lisans	90	26,3						
Doktora	70	20,5						
Pozisyon								
Doktor	34	9,9						
Hemşire	59	17,3						
Tıbbi Sekreter	45	13,2	2,237	0,039	0,357	0,906	0,323	0,925
Sağlık Teknikeri	51	14,9						
Sağlık Memuru	63	18,4						
Sağlık Teknisyeni	42	12,3						
Diğer	48	14,0						

Cinsiyet;

Sig. değeri p=0,094>0,05 olduğundan Sosyal Destek boyutu için cinsiyetin alt gruplarına göre

farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,518>0,05 olduğundan Örgütsel Destek boyutu için cinsiyetin alt gruplarına göre farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,245>0,05 olduğundan Örgütsel Güven boyutu için cinsiyetin alt gruplarına göre farklılık yoktur.

Yaş;

Sig. değeri p=0,098>0,05 olduğundan Sosyal Destek boyutu için yaşın alt gruplarına göre farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,054>0,05 olduğundan Örgütsel Destek boyutu için yaşın alt gruplarına göre farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,056>0,05 olduğundan Örgütsel Güven boyutu için yaşın alt gruplarına göre farklılık yoktur.

Eğitim;

Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Sosyal Destek boyutu için eğitimin alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,020<0,05 olduğundan Örgütsel Destek boyutu için eğitimin alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,255>0,05 olduğundan Örgütsel Güven boyutu için eğitimin alt gruplarına göre farklılık yoktur.

Çalışılan Pozisyon;

Sig. değeri p=0,039<0,05 olduğundan Sosyal Destek boyutu için pozisyonun alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,906>0,05 olduğundan Örgütsel Destek boyutu için pozisyonun alt gruplarına göre farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,925>0,05 olduğundan Örgütsel Güven boyutu için pozisyonun alt gruplarına göre farklılık yoktur.

Betimsel Analizler

Sosyal desteğin örgütsel desteğe ve örgütsel güvene etkisini ortaya koymaya yönelik betimsel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

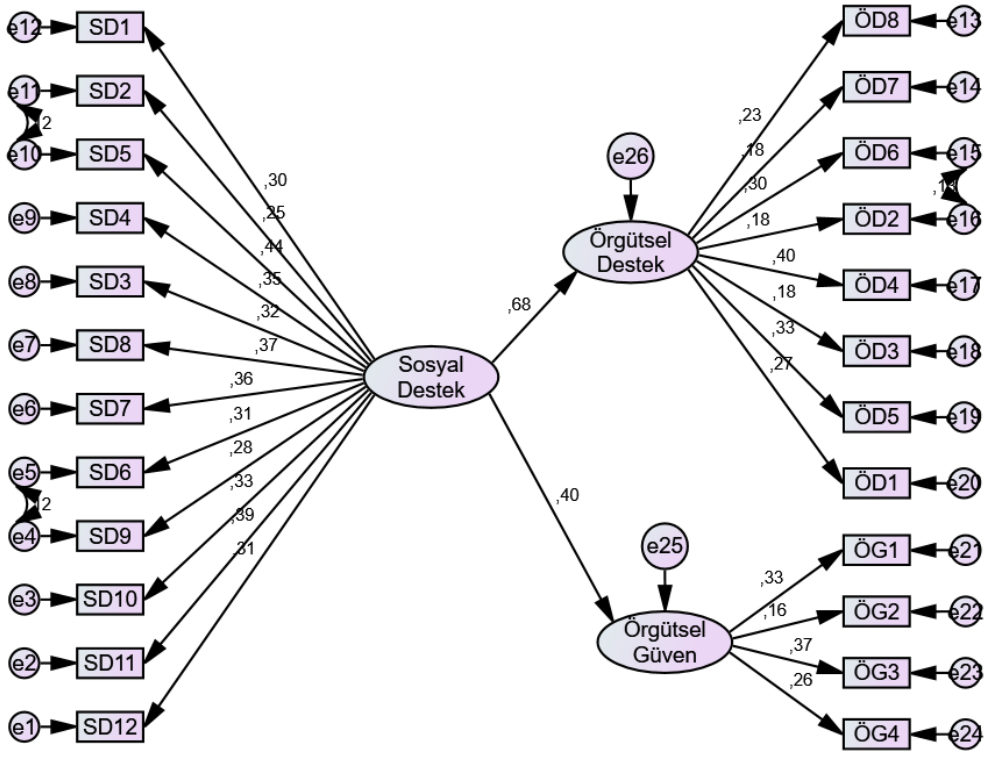
Tablo 2. Betimsel Analiz Sonuçları

Faktörler	N	Mean	Standard Deviation	Variance	Cronbach's Alpha
Sosyal Destek	342	3,1652	,59561	,355	,935
Örgütsel Destek	342	3,0753	,58159	,338	,848
Örgütsel Güven	342	3,0263	,73858	,545	,880

Yol (Path) Analizi İle İlgili Bulgular

Sosyal desteğin örgütsel desteğe ve örgütsel güvene etkisini tespit etmekt için yol analizi yapılmıştır. Path analizi sürecinde; değişkenlerin arasındaki ilişkileri gösteren path diyagramı çizilir. Doğrusal ilişkinin derecesi ve yönü belirlenir, ilişkinin etkileri (doğrudan veya dolaylı) ayrıştırılır ve bu ilişkiler yorumlanır. Aşağıda araştırmanın yol analizi modeli verilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil 2. Yol Analizi Modeli

Elde edilen 0≤χ2/df=1,126≤3, 0,00≤RMR=0,089≤0,10, 0,80≤GFI=0,939≤1,0, 0,80≤AGFI=0,926≤1,0, 0,80≤IFI=0,905≤1,0, 0,80≤TLI=0,885≤1,0, 0,80≤CFI=0,897≤1,0, 0,00≤RMSEA=0,019≤0,10 0,00≤SRMR=0,0489≤0,10 uyum değerleri verilerin modele uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir. Aşağıda Tablo 3'te iyileştirilmiş ölçüm modeline ilişkin doğrulayıcı faktör analizi sonuçları verilmiştir.

Tablo 3. İyileştirilmiş Ölçüm Modeline İlişkin DFA Sonuçları

Constructs	Items	Estimate	Cronbach's α	AVE	CR
Sosyal Destek	SD12	,679	0,935	0,44	0,94
	SD11	,531			
	SD10	,498			
	SD9	,596			
	SD8	,614			
	SD7	,742			
	SD6	,788			
	SD5	,706			
	SD4	,725			
	SD3	,663			
	SD2	,658			

Constructs	Items	Estimate	Cronbach's α	AVE	CR
	SD1	,611			
Örgütsel Destek	ÖD1	,552	0,848	0,40	0,88
	ÖD2	,463			
	ÖD3	,511			
	ÖD4	,419			
	ÖD5	,619			
	ÖD6	,586			
	ÖD7	,639			
	ÖD8	,637			
Örgütsel Güven	ÖG1	,880	0,880	0,60	0,98
	ÖG2	,790			
	ÖG3	,723			
	ÖG4	,690			

AVE değerleri 0,50'den küçük olmakla birlikte, CR'nin 0,60'tan büyük olması uyum geçerliliğinin olduğunu göstermektedir (Fornell ve Larcker, 1981: 382-388). Yukarıdaki tabloda hesaplanan AVE değerleri 0,40 ve daha büyük ve CR değerleri de 0,88 ve daha büyük olduğundan model uyum geçerliğini sağlamaktadır. Güvenilirlik katsayıları (Sosyal Destek=935, Örgütsel Destek=,848, Örgütsel Güven=,880) 0,80≤α<1,00 arasında olduğundan, ölçek yüksek derecede güvenilirdir.

Tablo 4. Yapısal Model Analizi Sonuçları

Hipotezler	**Yollar**	**Yol Katsayısı**	**S.E.**	**C.R.**	**P**	**Result**
Direk Etki (Direct Effect)						
Sosyal Desteğin Örgütsel Güvene Etkisi						
H1	Örgütsel Güven <--Sosyal Destek	,402	,208	2,091	P<,05	Önemli
Sosyal Desteğin Örgütsel Desteğe Etkisi						
H2	Örgütsel Destek <--Sosyal Destek	,675	,205	2,396	P<,05	Önemli

H_1: Sosyal desteğin örgütsel güvene etkisi önemlidir (P=0,037<,05). Etki derecesi pozitif yönlüdür (,402). Yani sosyal destek bir birim artığında örgütsel güven de 0,402 kat artacaktır.

H_2: Sosyal desteğin örgütsel desteğe etkisi önemlidir (P=0,017<,05). Etki derecesi pozitif yönlüdür (,675). Yani sosyal destek bir birim artığında örgütsel destek de 0,675 kat artacaktır.

SONUÇ

Sonuç olarak; path analizi ile Elde edilen $0 \leq \chi 2/df=1,126 \leq 3$, $0,00 \leq RMR=0,089 \leq 0,10$, $0,80 \leq GFI=0,939 \leq 1,0$, $0,80 \leq AGFI=0,926 \leq 1,0$, $0,80 \leq IFI=0,905 \leq 1,0$, $0,80 \leq TLI=0,885 \leq 1,0$, $0,80 \leq CFI=0,897 \leq 1,0$, $0,00 \leq RMSEA=0,019 \leq 0,10$ $0,00 \leq SRMR=0,0489 \leq 0,10$ uyum değerleri, verilerin modele uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir. Güvenilirlik katsayılarının (Sosyal Destek=935, Örgütsel Destek=,848, Örgütsel Güven=,880) olması ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir.

Elde edilen sonuçlar göre; sosyal desteğin örgütsel güvene etkisi önemli olduğundan, sosyal destek artarsa, örgütsel güven de artacak veya sosyal destek azalırsa, örgütsel güven de azalacaktır. Benzer biçimde sosyal desteğin, örgütsel desteğe etkisi önemli olduğundan, sosyal destek artarsa, örgütsel destekte artacak veya sosyal destek azalırsa, örgütsel destek de azalacaktır.

KAYNAKÇA

Aryee S, Budhwar PS, Chen ZX. (2002). Trust as a mediator of the relationship between organizational justice and workoutcomes:testofasocial exchange model. J. Organ Behav. 23(1): 267–285.

Bijlsma-Frankema K, de Jong B, van de Bun G. (2008). Heed, a missing link between trust, monitoring and performance in knowledge intensive teams. Int J Hum Resource Manag 19(1): 19–40.

Bryman A. (1992). Charisma and Leadership in Organizations. Sage: London.

Dumdum UR, Lowe KB, Avolio BJ. (2002). A meta analysis of transformational and transactional leadership correlates of effectiveness and satisfaction: an update and extension. In Transformationaland Charismatic Leadership: The Road Ahead, Avolio BJ, Yammarino FJ (eds). JAI/Elsevier: Oxford, UK; 35–66.

Eisenberger, R., Cummings, J., Armeli, S., and Lynch, P. (1997). Perceived organizational support, discretionary treatment and job satisfaction. Journal of Applied Psychology, 82(5), 812-820.

Kurtessis, J. N., Eisenberger, R., Ford, M. T., Buffardi, L. C., Stewart, K. A. and Adis, C. S. (2017). Perceived organizational support: A meta-analytic evaluation of organizational support theory. Journal of Management, 43(6), 1854-1884.

Lowe KB, Kroeck KG, Sivasubramaniam N. (1996). Effectiveness correlates of transformational and transactional leadership: a meta-analytic review of the MLQ literature. Leader Q 7(3): 385–425.

Rhoades, L. and Eisenberger, R. (2002). Perceived organizational support: A review of the literature. Journal of Applied Psychology, 87(4), 698-714.

Shore, L. M., and Shore, T. H. (1995). Perceived organizational support and organizational justice. R. S. Cropanzano and K. M. Kacmar (Eds.), Organizational Politics, Justice, and Support: Managing the Social Climate of the Workplace içinde (149-164). Westport, CT: Quorum.

Six F, Skinners D. (2010). Managing trust and trouble in interpersonal work relationships: evidence from two Dutch organizations. Int J Hum Resource Manag 21(1): 109–124.

Tanner BM. (2007). Analysis of the relationships among job satisfaction, organizational trust, and organizational commitment in an acute care hospital. (Ph.D. Thesis). San Francisco, California, USA: Faculty of Saybrook Graduate School and Research Center.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ALGILANAN SAĞLIK HİZMET KALİTESİNİN POLİKLİNİK HASTALARININ DAVRANIŞSAL NİYETLERİ ÜZERİNE ETKİSİNDE HASTA GÜVENİNİN ARACILIK ROLÜ

Doç. Dr. Fuat YALMAN

Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1041-1837

fuatyalman@duzce.edu.tr, 0506 4603437

Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ

Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5642-6498

yalcinkaragoz@duzce.edu.tr, 0553 0332996

ÖZET

Bu araştırmanın temel amacı, algılanan sağlık hizmet kalitesinin poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerine etkisinde hasta güveninin aracılık rolünü tespit etmektir. Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 400 sağlık profesyonelinden meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Algılanan sağlık hizmet kalitesinin poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerine etkisinde hasta güveninin aracılık rolünü ortaya koymak amacıyla yapılan yol analizi ile etkinin yönü ve aracılık etkisinin olup olmadığı tespit edilmiştir. Yol analizi ile elde edilen uyum değerleri verilerin modele uyum sağladığını göstermiştir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar göre; algılanan sağlık hizmet kalitesinin poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerine etkisinde hasta güveninin tam aracılık ettiği görülmüştür. Ayrıca algılanan sağlık hizmet kalitesi arttıkça, hasta güveninin artacağı ve hasta güveni arttıkça, davranışsal niyetin de artacağı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi, Davranışsal Niyet, Hasta Güveni

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE MEDIATING ROLE OF PATIENT TRUST IN THE EFFECT OF PERCEIVED HEALTHCARE SERVICE QUALITY ON OUTPATIENTS' BEHAVIORAL INTENTIONS

ABSTRACT

The main objective of this study is to determine the mediating role of patient trust in the effect of perceived healthcare service quality on outpatients' behavioral intentions. The research population consisted of healthcare professionals working in a university hospital. The sample group included 400 healthcare professionals. A questionnaire form was administered to the participants through face-to-face interviews. IBM SPSS 23 and AMOS statistical analysis programs were used to analyze the dataset within the scope of the study. Path analysis was conducted to determine the direction of the effect and whether a mediating effect existed in the relationship between perceived healthcare service quality and outpatients' behavioral intentions through patient trust. The fit indices obtained from the path analysis indicated that the data were compatible with the model. The model-data fit demonstrated the construct validity of the model. According to the results, patient trust was found to fully mediate the effect of perceived healthcare service quality on outpatients' behavioral intentions. Additionally, it was observed that as perceived healthcare service quality increases, patient trust also increases, and as patient trust increases, behavioral intention rises as well.

Keywords: Perceived Healthcare Service Quality, Behavioral Intention, Patient Trust

GİRİŞ

Son yıllarda yaşam standartlarının değişmesiyle birlikte, insanların yaşam biçimlerini iyileştirmeleri için daha iyi tıbbi bakıma ihtiyaç duyması sağlık hizmetlerinde kalite endişesini arttırmıştır. Etkin sağlık hizmet bakımı sunmak için, endişe haline gelen sağlık hizmet kalitesinin arttırılması önemli olmaktadır. Ayrıca sağlık kurumlarının hasta memnuniyetini sağlamaları açısından hizmet kalitelerini arttırmaları önemli kabul edilmektedir (Aagja ve Gar, 2010). Hizmet kalitesi kavramı, bireylerin edindikleri hizmete karşı beklentileri ile sağlık kurumlarının sağlamış olduğu gerçek hizmetin karşılaştırılması olarak tanımlanmaktadır (ep Koubaa Eleuch, 2011). Sağlık hizmet kalitesini iyileştirmek için hastaların hizmet kalitesini değerlendirilmesi başka bir deyişle hasta memnuniyetinin etkileri, sağlık hizmetinin sonuçlarının iyileştirilmesinde temel rol oynamaktadır. Bu doğrultuda hasta memnuniyetinin artması ile birlikte sağlık kurumlarında süreklilik sağlanmış olmaktadır (Arasli vd., 2008).

Sağlık hizmetlerinde hastaların memnuniyeti, sürdürebilirlik açısından önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir (Aagja ve Garg, 2010). Bu doğrultuda sağlık kurumlarının sağlık bakım hizmetlerinde hastaları ile uzun vadeli ilişkiler sürdürülebilmesi için davranışsal niyet

geliştirilmektedir. Özellikle kamu hastaneleri başta olmak üzere birçok sağlık kurumunda standart hizmet kalitesinin tam olarak sağlanamadığı kabul edilmektedir. Bu durum ile hasta ve yakınlarının memnuniyetleri azalmaktadır (Grogan vd., 2000). Hasta memnuniyeti, bir hizmet sağlayıcının performansının algısına yönelik ölçüm olarak tanımlanmaktadır (Hill ve Alexander, 2017). Hasta memnuniyeti, sağlık hizmetlerinde bakımın önemli bir sonucu olarak kaliteyi ölçmek ve iyileştirmek için önemli bilgiler sağlayan kilit başarı göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Naidu, 2009) ve hastalar bağlamında incelenerek bir sağlık hizmeti ortamındaki genel deneyimi ortaya çıkarmaktadır (Alrubaiee ve Alkaa'ida, 2011).

Bun yanı sıra sağlık sektöründe hizmet kalitesi, diğer sektörlere kıyasla daha kritik bir rol oynamaktadır. Kaliteli sağlık hizmetleri bireylerin, toplumun ve ülkenin refahını doğrudan etkilemektedir (Rezaei vd., 2018). Yapılan birçok araştırma hizmet kalitesi ile davranışsal niyetler arasında pozitif bir ilişki tespit etmiştir (Kuruuzum ve Köksal, 2010). Zeithaml vd. (1996) tarafından sunulan bir modele göre, davranışsal niyetler, tekrar satın alma niyeti, ağızdan ağza iletişim, sadakat, şikâyet etme davranışı ve fiyat duyarlılığı gibi ölçütlerle ortaya çıkmaktadır. Olumlu davranışsal niyetler, olumlu şeyler söyleme ve hizmetleri başkalarına tavsiye etme, şirkete Premium fiyat ödeme ve kuruluşa bilişsel bağlılık ifade etme gibi unsurları içermektedir (Aliman ve Mohamad, 2016). Ayrıca, müşterilerin olumlu davranışsal niyetlerini oluşturmak için yüksek algılanan hizmet kalitesi, hasta memnuniyeti ve algılanan değere ihtiyaç duyulmaktadır.

Geçmişte yapılmış bazı araştırmalar, hizmet kalitesinin, güvenin aracı rolü olmadan müşteri memnuniyetini doğrudan etkilemediğini kanıtlamıştır (Jani ve Han, 2011; Kantsperger ve Kunz, 2010). Doriza (2019) tarafından yapılan bir araştırma, kaliteli hizmetin, öğrencilere hizmet veren personele güvenme ve ihtiyaçlarını karşılama kararı üzerinde etkisi olan, öğrenciler tarafından algılanan bir koşul ve durum olduğunu vurgulamıştır. Çok sayıda çalışma, hastaların algılanan sağlık hizmeti kalitesi ile memnuniyetleri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Genel olarak bulgular, hastaların algıladıkları sağlık hizmet kalitesinin, sağlık hizmetlerinden memnuniyetlerini olumlu yönde etkilediğine işaret etmektedir (Aliman ve Mohamad, 2016; Aljaberi vd., 2018). Bu araştırmada sunulan sağlık hizmetlerinin kalitesini ve poliklinik hastalarının bu hizmetlerden memnuniyetini ölçmek ve sağlık hizmeti sunucularının daha iyi hizmet verebilmeleri için poliklinik hastalarının davranışsal niyetlerinin de anlaşılmasına dikkat çekilmiştir. Ancak kamu hastanelerinde hizmet kalitesi ve memnuniyet arasındaki ilişki ve poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalar kısmen sınırlı ve yetersizdir. Bu nedenle, sağlık hizmeti kalitesinin hasta memnuniyeti üzerindeki etkisinin, özellikle güvenin aracı etkisine bakılarak ortaya çıkarılması önemli kabul edilmektedir.

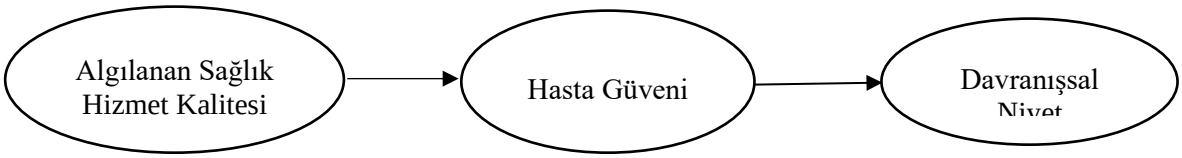
Yöntem

Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış. Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 401 sağlık profesyonelinden meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır.

Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Algılanan sağlık hizmet kalitesi, davranışsal niyet ve hasta güveni arasındaki yapısal ilişkilerin tespit edilmesi araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Araştırmanın modeli, araştırmanın temel değişkenleri (algılanan sağlık hizmet kalitesi, davranışsal niyet ve hasta güveni) arasındaki nedensellik ilişkisini tartışmaktadır. Araştırmanın kavramsal modeli arasındaki yapısal ilişkiler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Araştırmanın Modeli

"H_1: Algılanan sağlık hizmet kalitesinin poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerine etkisinde hasta güveninin aracılık rolünü vardır."

Evren ve Örnekleme

Araştırmanın evrenini bir üniversitesi hastanesinde çalışan sağlık profesyonelleri oluşturmuştur. Örneklem grubu ise 400 sağlık profesyonelinden meydana gelmiştir. Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

Veri Toplama Yöntemi

Katılımcılara anket formu yüz yüze uygulanmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişki düzeyini ve ilişkinin yönünü ortaya koymak için yapısal eşitlik modellemesi (YEM) yöntemlerinden olan doğrulayıcı faktör analizi uygulanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BULGULAR

Demografik Bulgular

Araştırmaya katılan sağlık profesyonellerinin demografik özellikleri ile faktörler arasındaki farklılık analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ile Farklılık Analizleri

			Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi		**Davranışsal Niyet**		**Hasta Güveni**	
	N	%	t^a/F^b	p^c	t^a/F^b	p^c	t^a/F^b	p^c
Cinsiyet			0,090	0,929	0,293	0,770	0,443	0,658
Erkek	261	65,3						
Kadın	139	34,8						
Yaş			2,412	**0,051**	1,411	0,230	1,756	0,137
18-25	75	18,8						
26-35	132	33,0						
36-45	174	43,5						
46-55	15	3,8						
56 ve üzeri	4	1,0						
Eğitim Düzeyi			0,674	0,610	1,391	0,236	0,308	0,872
İlkokul	2	,5						
Ortaokul	16	4,0						
Lise	125	31,3						
Üniversite	233	58,3						
Lisansüstü	24	6,0						
[a] Independent t test, [b] ANOVA test, [c] p-value (2tailed)								

Betimsel Analizler

Poliklinik hastalarının sağlık hizmet kalitesi algıları, davranışsal niyet durumları ve hasta güveni düzeylerine yönelik betimsel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Betimsel Analiz Sonuçları

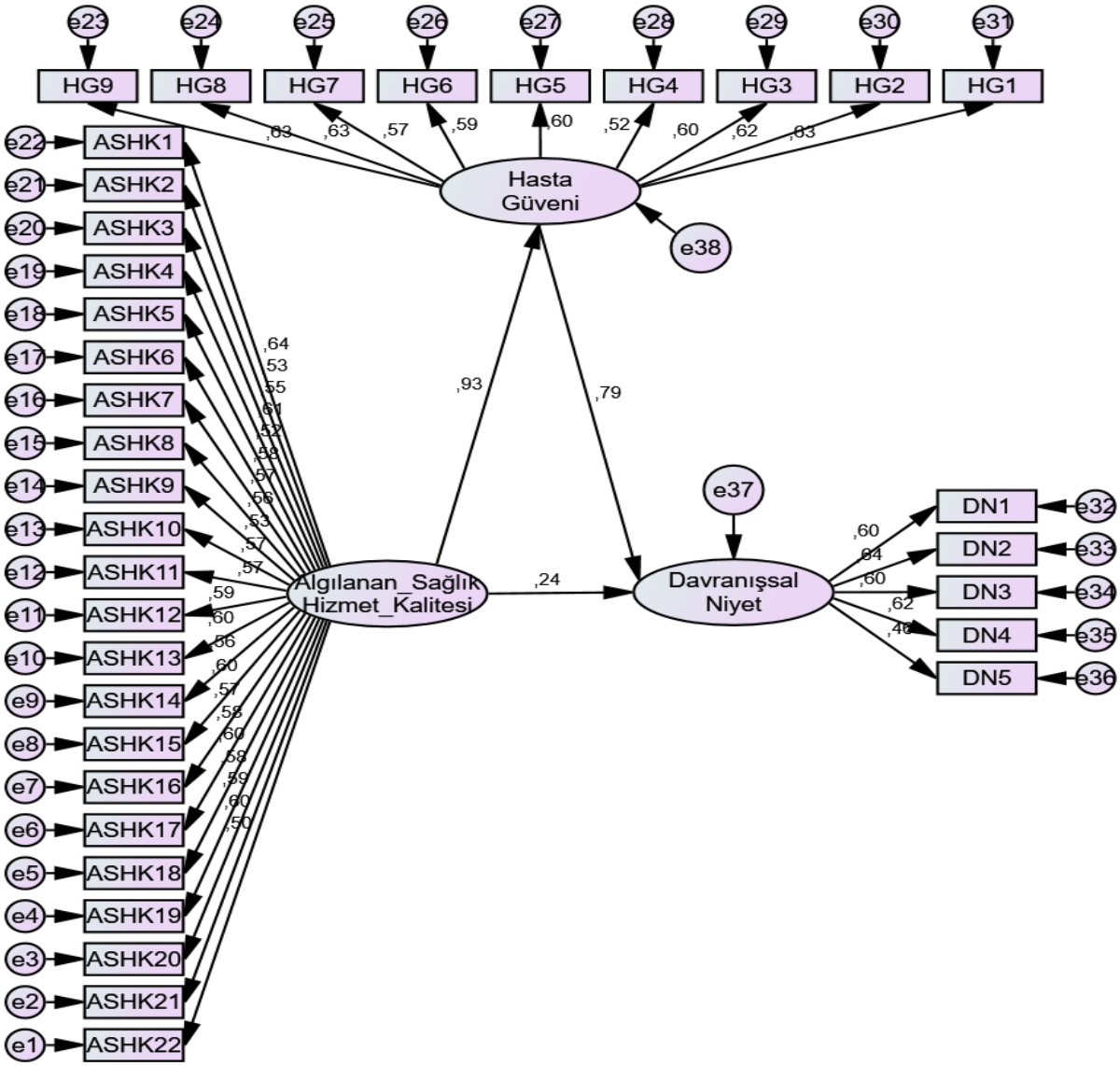
Faktörler	N	Mean	Standard Deviation	Variance	Cronbach's α
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	400	3,9556	,48362	,234	,859
Davranışsal Niyet	400	4,0540	,63268	,400	,702
Hasta Güveni	400	4,2792	,52917	,280	,789

Yol (PATH) Analizi İle İlgili Bulgular

Sağlık hizmet kalitesinin poliklinik hastalarının davranışsal niyetleri üzerine etkisinde hasta güvenin aracılık rolünü test etmek için yol analizi yapılmıştır. Yol analizi; nicel değişkenler arasındaki yapısal ilişkiyi kestirmek ve bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkenler üzerindeki toplam etkilerinin ne kadarının doğrudan ne kadarının da dolaylı olarak ortaya çıktığını belirlemekte kullanılan bir yöntem olarak tanımlanabilir. Path analizi sürecinde; değişkenlerin arasındaki ilişkileri gösteren path diyagramı çizilir. Doğrusal ilişkinin derecesi ve yönü

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

belirlenir, ilişkinin etkileri (doğrudan veya dolaylı) ayrıştırılır ve bu ilişkiler yorumlanır. Aşağıda araştırmanın yol analizi modeli verilmiştir.



Şekil 2. Yol Analizi Modeli

Aşağıda verilen uyum değerleri model uyumunun (model fit) iyi sağlandığını göstermektedir. Elde edilen $0 \leq \chi 2/df = 1{,}663 \leq 3$, $0{,}00 \leq RMR = 0{,}064 \leq 0{,}100$, $0{,}800 \leq GFI = 0{,}885 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq AGFI = 0{,}870 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq NFI = 0{,}827 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq RFI = 0{,}815 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq IFI = 0{,}923 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq TLI = 0{,}927 \leq 1{,}00$, $0{,}800 \leq CFI = 0{,}922 \leq 1{,}00$, $0{,}00 \leq RMSEA = 0{,}041 \leq 0{,}100$, $0{,}00 \leq SRMR = 0{,}0399 \leq 0{,}100$ uyum değerleri, verilerin modele iyi uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele iyi uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. İyileştirilmiş Ölçüm Modeline İlişkin DFA Sonuçları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Boyutlar	Alt Boyutlar	Faktör Yükleri	Cronbach's α	AVE	CR
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	ASHK22	,496	,915	,33	,87
	ASHK21	,600			
	ASHK20	,587			
	ASHK19	,583			
	ASHK18	,603			
	ASHK17	,576			
	ASHK16	,567			
	ASHK15	,601			
	ASHK14	,563			
	ASHK13	,604			
	ASHK12	,587			
	ASHK11	,573			
	ASHK10	,566			
	ASHK9	,526			
	ASHK8	,563			
	ASHK7	,569			
	ASHK6	,575			
	ASHK5	,516			
	ASHK4	,611			
	ASHK3	,553			
	ASHK2	,535			
	ASHK1	,639			
Hasta Güveni	HG9	,631	,715	,36	,76
	HG8	,632			
	HG7	,569			
	HG6	,587			
	HG5	,604			
	HG4	,524			
	HG3	,599			
	HG2	,623			
	HG1	,632			
Davranışsal Niyet	DN1	,601	,835	,35	,62
	DN2	,636			
	DN3	,604			
	DN4	,624			
	DN5	,463			

AVE değerleri 0,50'den küçük olmakla birlikte, CR'nin 0,60'tan büyük olması uyum geçerliliğinin olduğunu göstermektedir (Fornell ve Larcker, 1981: 382-388). Yukarıdaki tabloda hesaplanan AVE değerleri 0,33 ve daha büyük ve CR değerleri de 0,62 ve daha büyük olduğundan model uyum geçerliğini sağlamaktadır. Güvenilirlik katsayıları (Algılanan Sağlık

Hizmet Kalitesi=,915, Davranışsal Niyet=,715 ve Hasta Güveni=,835 bulunmuştur. Bu değerler 0,60≤α<1,00 arasında olduğundan, ölçek oldukça güvenilir.

Tablo 5. Path Analizinin Sonuçları

Hypothesis	Paths	Estimate	S.E.	C.R.	P	Result
Aracı Değişken Hariç Direk Etki (Direct Effect)						
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesinin, Davranışsal Niyete Etkisi						
H_1	Davranışsal Niyet<--- Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	,979	,141	8,480	p<,001	İleri Düzeyde Önemli
Aracı Değişken (Hasta Güveni) Dâhil Direk Etkile (Direct Effects)						
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesinin, Davranışsal Niyetine Etkisi						
H_2	Davranışsal Niyet <--- Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	,243	,196	1,481	p=,139>,05	Önemli Değil
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesinin, Hasta Güvenine Etkisi						
H_3	Hasta Güveni<--- Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	929	,135	8,807	p<,001	İleri Düzeyde Önemli
Hasta Güveni, Davranışsal Niyetine Etkisi						
H_4	Davranışsal Niyet<--- Hasta Güveni	,793	,168	4,416	p<,001	İleri Düzeyde Önemli
Hypothesis	**Indirect Path**	**Estimate**	**S.E.**	**C.R.**	**P**	**Result**
Aracı Değişken (Hasta Güveni) Dâhil Dolaylı Etki (Indirect Effect)						
Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesinin, Davranışsal Niyete Etkisi						
H_5	Davranışsal Niyet<--- Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi	,737	,141	8,480	p<,001	İleri Düzeyde Önemli

Aracı Değişken Hariç Direk Etki

H_1: Bağımsız değişkenin (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi) bağımlı değişken (Davranışsal Niyet) üzerindeki direk etkisi ileri düzeyde önemlidir ve pozitiftir (p<,001) ve Bağımsız değişken (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi) ile bağımlı değişken (Davranışsal Niyet) arasındaki standardize edilmiş regresyon katsayısı 0,979'dur. Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi bir birim artarsa, Davranışsal Niyet 0,979 kat artacaktır.

Aracı Değişken (Hasta Güveni) Dâhil Direk Etkiler

H_2: Aracı değişkenler (Hasta Güveni), bağımsız değişkenle (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi) ile birlikte modele dâhil edildiklerinde, bağımsız değişkenin (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi) bağımlı değişken (Davranışsal Niyet) üzerindeki etkisi önemsiz çıkmıştır(p=,0139>0,05). Dolayısıyla Hasta Güveni tam aracı değişkenlerdir.

H_3: Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesinin, Hasta Güvenine etkisi ileri düzeyde önemlidir (P<,001). Etki derecesi pozitif yönlüdür (0,929). Yani Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi bir

birim artığında Hasta Güveni de 0,929 kat artacaktır.

H_4: , Hasta Güveninin, Davranışsal Niyete etkisi de ileri düzeyde önemlidir (P<,001). Etki derecesi pozitif yönlüdür (0,793). Yani Hasta Güveni bir birim artığında Davranışsal Niyet de 0,793 kat artacaktır.

Aracı Değişken (Hasta Güveni) Dâhil Dolaylı Etki

H_7: Bağımsız değişkenin (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi) bağımlı değişkene (Davranışsal Niyet) aracı değişkenler (Hasta Güveni) üzerinden dolaylı etkisi de önemlidir (P<,001). Etki derecesi pozitif yönlüdür (0,737). Yani Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi bir birim artarsa, Davranışsal Niyet de dolaylı olarak 0,737 kat artacaktır.

SONUÇ

Sonuç olarak; path analizi ile elde edilen uyum değeri ($0 \leq \chi 2/df=1,663 \leq 3$, $0,00 \leq RMR=0,064 \leq 0,100$, $0,800 \leq GFI=0,885 \leq 1,00$, $0,800 \leq AGFI=0,870 \leq 1,00$, $0,800 \leq NFI=0,827 \leq 1,00$, $0,800 \leq RFI=0,815 \leq 1,00$, $0,800 \leq IFI=0,923 \leq 1,00$, $0,800 \leq TLI=0,927 \leq 1,00$, $0,800 \leq CFI=0,922 \leq 1,00$, $0,00 \leq RMSEA=0,041 \leq 0,100$, $0,00 \leq SRMR=0,0399 \leq 0,100$) verilerin modele iyi uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele iyi uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca yine path analizi ile elde edilen modelin boyutlarına ait AVE (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi=,33, Hasta Güveni=,36 ve Davranışsal Niyet=,35) değerlerinin 0,33 ve daha büyük ve CR (Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi=,87, Hasta Güveni=,76 ve Davranışsal Niyet=,62) değerlerinin de 0,62 ve büyük olması, boyutların uyum geçerliğinin sağlandığını göstermektedir.

Genel Güvenilirlik Katsayısı =0,946, Algılanan Sağlık Hizmet Kalitesi=0,915, Davranışsal Niyet=0,715 ve Hasta Güveni=0,835 bulunmuştur. Bu değerler $0,80 \leq \alpha < 1,00$ arasında olduğundan, ölçek oldukça güvenilir. Elde edilen sonuçlar göre; bağımsız değişken (algılanan sağlık hizmet kalitesi) doğrudan ve dolaylı olarak (hasta güveni aracılığıyla) bağımlı değişkeni (davranışsal niyet) önemli derecede etkilediği ve algılanan sağlık hizmet kalitesi arttıkça davranışsal niyetin de artacağı görülmüştür. Ayrıca algılanan sağlık hizmet kalitesi arttıkça, hasta güveninin artacağı ve hasta güveni arttıkça, davranışsal niyetin de artacağı görülmüştür. Aracı değişken (hasta güveni), bağımsız değişkenle (algılanan sağlık hizmet kalitesi) ile birlikte modele dâhil edildiğinde, bağımsız değişkenin (algılanan sağlık hizmet kalitesi) bağımlı değişken (davranışsal niyet) üzerindeki etkisi önemsiz çıkmıştır. Dolayısıyla hasta güveni tam aracı değişkenlerdir. Algılanan Sağlık hizmet kalitesinin davranışsal niyete, aracı değişken (hasta güveni) üzerinden dolaylı etkisi de önemlidir. Yani algılanan sağlık hizmet kalitesi arttıkça, davranışsal niyet de dolaylı olarak artacağı görülmüştür.

KAYNAKÇA

Aagja, J. P., & Garg, R. (2010). Measuring perceived service quality for public hospitals (PubHosQual) in the Indian context. International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing, 4(1), 60-83.

Aliman, N. K., & Mohamad, W. N. (2016). Linking service quality, patients' satisfaction and behavioral intentions: An investigation on private healthcare in Malaysia. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 224, 141–148.

Aljaberi, M. A., Juni, M. H., Al-Maqtari, R. A., Lye, M. S., Saeed, M. A., Al-Dubai, S. A. R., & Shahar, H. K. (2018). Relationships among perceived quality of healthcare services, satisfaction and behavioural intentions of international students in Kuala Lumpur, Malaysia: A cross-sectional study. BMJ Open, 8(9), e021180.

Alrubaiee, L., & Alkaa'ida, F. (2011). The mediating effect of patient satisfaction in the patients' perceptions of healthcare qualitypatient trust relationship. International Journal of Marketing Studies, 3(1), 103.

Arasli, H., Haktan Ekiz, E., & Turan Katircioglu, S. (2008). Gearing service quality into public and private hospitals in small islands: empirical evidence from Cyprus. International journal of Health Care Quality Assurance, 21(1), 8-23.

Doriza, S. (2019). The impact of service quality and customer satisfaction on trust of students at university (Paper presentation). 2nd International Conference on Research of Educational Administration and Management. https://doi.org/10.2991/ icream-18.2019.51.

ep Koubaa Eleuch, A. (2011). Healthcare service quality perception in Japan. International Journal of Health Care Quality Assurance, 24(6), 417-429.

Grogan, S., Conner, M., Norman, P., Willits, D., & Porter, I. (2000). Validation of a questionnaire measuring patient satisfaction with general practitioner services. Quality in Health Care, 9(4), 210-215.

Hill, N., & Alexander, J. (2017). The handbook of customer satisfaction and loyalty measurement. Routledge.

Jani, D., & Han, H. (2011). Investigating the key factors affecting behavioural intentions. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 23(7), 1000–1018.

Kantsperger, R., & Kunz, W. H. (2010). Consumer trust in service companies: A multiple mediating analysis. Managing Service Quality: An International Journal, 20(1), 4–25.

Kuruuzum, A., & Koksal, C. D. (2010). The impact of service quality on behavioral intention in hospitality industry. International Journal of Business and Management Studies, 2(1), 9–15.

Naidu, A. (2009). Factors affecting patient satisfaction and healthcare quality. International Journal of Health Care Quality Assurance, 22(4), 366–381.

Rezaei, S., Hajizadeh, M., Zandian, H., Fathi, A., & Nouri, B. (2018). Service quality in Iranian hospitals: A systematic review and meta-analysis. Medical Journal of the Islamic Republic of Iran, 32(1), 59.

Zeithaml, V. A., Berry, L. L., & Parasuraman, A. (1996). The behavioral consequences of service quality. Journal of Marketing, 60(2), 31–46.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DİJİTAL YOKSUNLUK VE DİJİTAL AYRIMIN YAŞLI RUH SAĞLIĞINA ETKİSİ: SOSYAL HİZMET MÜDAHALELERİ

Sezen Soner Aykut

Ege Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü,

sezensoneraykut@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-6578-8589

ÖZET

Dünya nüfusunun hızlı biçimde yaşlanması, yaşlı bireylerin toplumsal yaşamda karşılaştıkları ihtiyaç ve güçlükleri daha görünür hâle getirmektedir. Aynı dönemde dijitalleşmenin yaşamın her alanına nüfuz etmesi, yaşlı bireylerin hem hizmetlere erişiminde hem de günlük yaşam pratiklerinde yeni eşitsizliklerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Dijital teknolojilere erişim olanaklarının sınırlı olması veya bu teknolojilerin etkin biçimde kullanılamaması, yalnızca bilgiye ve hizmetlere erişimi zorlaştırmakla kalmamakta; aynı zamanda yaşlı bireylerin ruh sağlığını, sosyal ilişkilerini ve psikososyal iyi oluş düzeylerini de etkilemektedir. Ancak mevcut araştırmalar çoğunlukla teknik kullanım ya da erişim boyutuna odaklanmakta; dijital yoksunluğun yaşlılık deneyimine ilişkin daha derin ve çok katmanlı etkileri sosyal hizmet perspektifinden yeterince kapsamlı biçimde ele alınmamaktadır.

Bu bildiri, dijital ayrımın yaşlı bireyler üzerindeki sonuçlarını sosyal hizmet odağıyla inceleyerek literatürdeki bu boşluğu ele almayı amaçlamaktadır. Dijitalleşmenin hız kazandığı günümüzde yaşanan erişim ve kullanım eşitsizliklerinin yaşlıların psikososyal iyi oluşuna nasıl yansıdığı değerlendirilecek; dijital yoksunluğun gündelik yaşam, toplumsal katılım ve hizmetlere erişim üzerindeki etkileri tartışılacaktır. Çalışma, elde edilen bulgular doğrultusunda yaşlı bireylerin dijital süreçlere daha etkin biçimde katılımını destekleyebilecek sosyal hizmet müdahalelerine ilişkin bütüncül bir çerçeve sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler : Yaşlı birey, dijital yoksunluk, yaşlılık ve dijitalleşme

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DIGITAL DEPRIVATION AND THE IMPACT OF THE DIGITAL DIVIDE ON OLDER ADULTS' MENTAL HEALTH: SOCIAL WORK INTERVENTIONS

ABSTRACT

The rapid ageing of the world's population has made the needs and challenges faced by older adults in social life increasingly visible. At the same time, the pervasive penetration of digitalization into all areas of life has led to the emergence of new inequalities for older adults, both in access to services and in everyday practices. Limited access to digital technologies or the inability to use these technologies effectively not only hinders access to information and services, but also affects older adults' mental health, social relationships, and levels of psychosocial well-being. However, existing research predominantly focuses on technical aspects of use or access, while the deeper and multi-layered effects of digital deprivation on the experience of ageing are not sufficiently addressed from a social work perspective.

This paper aims to address this gap in the literature by examining the consequences of the digital divide for older adults through a social work lens. In an era of accelerating digitalization, it evaluates how inequalities in access and use are reflected in older adults' psychosocial well-being, and discusses the effects of digital deprivation on daily life, social participation, and access to services. Based on the findings, the study seeks to present a holistic framework of social work interventions that can support older adults' more effective participation in digital processes.

Keywords: Older adult, digital deprivation, ageing and digitalization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FAST-FOOD CONSUMPTION & EARLY PUBERTY

Anahid KAZEMI DAREHBIDI
Nişantaşı Üniversitesi
20251563001@std.nisantasi.edu.tr- 0009-0006-0130-637X
Dr. Öğr. Üyesi Wida SAMZARI
Nişantaşı Üniversitesi
wida.simzari@nisantasi.edu.tr - 0000-0001-9705-0183

ABSTRACT

This study examines the biological and endocrine effects of fast-food consumption on pubertal timing, drawing on advanced mechanistic evidence. Contemporary literature indicates that energy-dense, ultra-processed foods contribute to chronic positive energy balance in childhood, leading to premature activation of central regulators of the pubertal axis, including leptin, insulin, and IGF-1. Early elevations in these hormones may lower the physiological thresholds of the hypothalamic–pituitary–gonadal (HPG) axis, triggering pubertal onset earlier than the normative developmental window.

Low-fiber, high-glycemic dietary patterns further accelerate pubertal activation by promoting insulin resistance, hyperinsulinemia, and increased adipocyte-derived endocrine activity particularly elevated leptin secretion. Concurrently, expanded adipose tissue mass enhances aromatase activity, increasing androgen-to-estrogen conversion and providing a biochemical basis for earlier breast development, especially in females.

Dysbiosis induced by fast-food–dominant diets exert additional indirect effects on the pubertal axis: microbiota-derived endotoxins amplify systemic inflammation, which in turn reduces metabolic hormone sensitivity and creates a physiological environment conducive to accelerated pubertal progression.

Overall, current findings demonstrate that fast-food consumption during childhood advances pubertal timing not only through excess caloric intake but also via interconnected hormonal, inflammatory, and microbial pathways. Improving dietary quality should therefore be regarded as a biologically grounded public health priority for preventing early puberty.

Keywords: Fast-Food, Early Puberty, Leptin, HPG Axis, Hormonal Mechanisms.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TYPE 2 DIABETES & DIETARY PATTERNS

Anahid KAZEMI DAREHBIDI
Nişantaşı Üniversitesi
20251563001@std.nisantasi.edu.tr- 0009-0006-0130-637X

Dr. Öğr. Üyesi Wida SAMZARI
Nişantaşı Üniversitesi
wida.simzari@nisantasi.edu.tr - 0000-0001-9705-0183

ABSTRACT

This study provides an in-depth evaluation of the metabolic, inflammatory, and hormonal mechanisms through which dietary patterns influence the development of Type 2 diabetes (T2D). Evidence from recent cohort studies and systematic reviews demonstrates that dietary patterns exert effects far beyond total energy intake, impacting glycemic responses, gut microbiota composition, adipose tissue metabolism, and chronic inflammatory processes. Plant-based, fiber-rich dietary patterns have been shown to attenuate postprandial glycemic fluctuations, enhance insulin sensitivity, increase microbiota-derived short-chain fatty acid production, and mitigate lip toxicity, thereby supporting metabolic homeostasis.

In contrast, Western dietary patterns characterized by high intakes of saturated fats, refined carbohydrates, and ultra-processed foods are associated with increased hepatic glucose production, impaired insulin signaling pathways, elevated systemic inflammatory cytokine profiles, and adipose tissue hypertrophy and hyperplasia, collectively exacerbating insulin resistance. These disturbances represent early pathophysiological mechanisms central to the onset and progression of T2D.

Overall, the findings indicate that dietary assessment should prioritize pattern-based approaches rather than individual nutrients for effective T2D prevention. Promoting fiber-rich, minimally processed, anti-inflammatory dietary models should be considered a key public health strategy for preserving metabolic health at the population level.

Keywords: Type 2 Diabetes, Dietary Patterns, Metabolic Mechanisms, Western Diet, Insulin Resistance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KANSER VE BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI

Dyt. Dilara KIRKGÖZ

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı

dytdilarakirkgoz@gmail.com- 0009-0002-1210-8628

Dr. Öğr. Üyesi KERİM KAAN GÖKÜSTÜN

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, kerimkaangokustun@hotmail.com, 0000-0001-6725-4388

ÖZET

Kanser, hücrelerin kontrolsüz bir şekilde çoğalması ve/veya diğer doku ve organlara yayılması olarak tanımlanan ciddi bir halk sağlığı sorunudur. Bu sağlık sorununun insidansının hızlı bir şekilde arttığı ve yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilediği bildirilmiştir. Bağırsak mikrobiyotası kanser hastalığında birçok patofizyolojik yolak ile ilişkili olması nedeniyle son yıllarda oldukça dikkat çeken bir konudur. Bağırsak mikrobiyotasının kanser gelişimi ve ilerlemesinde rol alabileceği için mikrobiyota içeriğinin düzenlenmesinin kanser komplikasyon ve tedavisinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Kanser ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki ilişkinin belirlenmesine yönelik birçok çalışma yayımlansa da günümüzde altta yatan mekanizma net bir şekilde aydınlatılamamıştır. Bu çalışmanın amacı güncelliğini koruyan kanser ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak ve bu konudaki farkındalığı arttırmaktır. Bağırsak mikrobiyotasında bulunan yararlı bakteriler tümörü teşvik eden pro-inflamatuar sitokin salınımını ve histon deasetilaz aktivitesini baskılamakta ve diyet mutajenlerinin bağırsakta emilmesini engelleyerek kanser riskini azaltmaktadır. Bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitleri aşırı hücre bölünmesini engelleyerek ve apoptozu indükleyerek karsinojenezi büyük oranda azaltabilmektedir. Sonuç olarak güncel çalışmalar bağırsak mikrobiyotasının kanser gelişimi ve tedavisinde belirleyici bir rol oynadığını bildirmektedir. Bu alanda yapılacak yeni çalışmalarda, mikrobiyotanın kanser türlerindeki etkisini açıklayan daha geniş ve çok merkezli araştırmalara ve diyet müdahalelerinin bu ilişki üzerindeki etkisini tanımlayan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bağırsak mikrobiyotası, kanser, kısa zincirli yağ asitleri, patofizyoloji

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CANCER AND GUT MICROBIOTA

Dietitian Dilara KIRKGÖZ

Izmir Democracy University, Institute of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics

dytdilarakirkgoz@gmail.com- 0009-0002-1210-8628

Dr. KERİM KAAN GÖKÜSTÜN

Izmir Democracy University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics

kerimkaangokustun@hotmail.com, 0000-0001-6725-4388

ABSTRACT

Cancer is a significant public health concern characterized by the uncontrolled growth of cells and their potential dissemination to other tissues and organs. It has been reported that the prevalence of this health issue is rising swiftly and is adversely impacting quality of life. The gut microbiota has garnered significant interest in recent years because of its correlation with various pathophysiological mechanisms in cancer. The gut microbiota is believed to influence cancer development and progression, suggesting that modulating its composition may be beneficial in managing cancer problems and treatment. Despite several investigations on the association between cancer and gut bacteria, the underlying mechanism remains inadequately clarified. The objective of this study is to enhance understanding of the relationship between cancer and intestinal microbiota, a subject that continues to be of ongoing relevance, and to increase awareness of this issue. Beneficial bacteria in the gut microbiota inhibit the secretion of pro-inflammatory cytokines and histone deacetylase activity that facilitate tumorigenesis, hence diminishing cancer risk by obstructing the absorption of food mutagens in the gastrointestinal tract. Short-chain fatty acids generated by the gut microbiota can markedly diminish carcinogenesis by suppressing excessive cell proliferation and promoting apoptosis. In conclusion, new research demonstrates that the gut microbiota strongly affects cancer progression and therapy. Future study in this domain necessitates expansive, multicenter studies that clarify the microbiome's influence on various cancer types, as well as investigations that delineate the effects of dietary treatments on this relationship.

Keywords: Cancer, gut microbiota, pathophysiology, short chain fatty acids

1. GİRİŞ

Kanser dünyadaki başlıca ölüm nedenlerinden biri olan bulaşıcı olmayan bir hastalıktır (Cazzolla Gatti et al., 2023). Hücrelerin kontrolsüz bir şekilde çoğalarak diğer dokulara yayılması (metastaz) ile karakterizedir (Yin et al., 2021). Erkeklerde akciğer kanseri, kadınlar da ise meme kanserinin en yaygın kanser türü olduğu görülmektedir (Cazzolla Gatti et al., 2023). Kanser oluşumunu tetikleyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında çevresel ve epigenetik maruziyetler yer almaktadır. Aşırı alkol kullanımı, sigaraya maruziyet, genetiği değiştirilmiş besinlerin tüketimi, güneş yanıkları, mikrodalga fırın kullanımı, aile öyküsünde kanserli bireylerin yer alması, gıda koruyucuları ve cep telefonuna maruziyet gibi nedenler kanser oluşumu için risk oluşturmaktadır. Ayrıca kanser için en önemli risk faktörlerinden biri de aşırı strestir (Akakpo et al., 2023). Kanser için kemoterapi, radyoterapi ve cerrahi işlemler gibi tedavilerin uygulandığı bilinmektedir. Bu tedavi yöntemleri ile kansere neden olan hücrelerin yok edilmesi ve metastazın engellenmesi hedeflenmektedir. Tedavi yöntemlerinin uygulanmasıyla hastaların yaşam süresinde artış görülmektedir. Ancak tedaviden sonra hastalığın nüksettiği de görülen bir durumdur. Bu sebeple kanser ciddi bir hastalık olmayı sürdürmekte ve kapsamlı bir incelemeyi gerektirmektedir (Yin et al., 2021)

Bağırsak mikrobiyotası canlı mikroorganizmaları içeren bir mikrobiyota çeşididir. Bağırsak mikrobiyotasındaki denge bireylerde sağlık durumuyla ilişkili olduğundan, mikrobiyotada meydana gelen herhangi bir bozukluk ve dengesizlik kanser gibi pek çok hastalığa neden olabilmektedir (Hou et al., 2022). Bağırsak mikrobiyotasındaki bozulma, onkojenik metabolit üretimini artırarak veya kronik inflamasyonu tetikleyerek kanser riskinin artmasına neden olabilmektedir (Cui et al., 2025). Kanser ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki ilişkiyi destekleyen birçok faktör arasında probiyotikler ve prebiyotikler de yer almaktadır. Probiyotikler apoptozu teşvik edebilmekte, kanserojen maddelerin detoksifikasyonuna ve bağışıklık tepkisinin uyarılmasına sebep olmaktadır. Böylece tümör hücrelerinin ilerlemesini engelleyebilmektedir. Ayrıca kanserojen maddeye dönüşümde rol alan bazı bakterilerin de gelişimini sınırlamaktadır (Yadav et al., 2022). Probiyotiklerin işlevini destekleyen bağırsak enzimleri tarafından sindirilemeyen posalar, yani prebiyotikler, kanser gelişimi ve önlenmesinde rol alabilmektedir. Prebiyotiklerin kanserli hücrelerde apoptozu indüklemek, oksidatif stresi azaltmak ve kanserojenleri nötralize etmek gibi etkilere sahip olduğu bilinmektedir (Tegegne et al., 2025). Prebiyotiklerin probiyotikler tarafından fermentasyonu sonucu üretilen propiyonat, bütirat ve asetat gibi kısa zincirli yağ asitleri ile birçok kanser türü arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır (Feitelson et al., 2023). Kısa zincirli yağ asitleri, inflamasyonu baskılayabilmekte, histon deasetilaz enzim aktivitesini inhibe edebilmekte, hücre büyümesini geciktirmekte ve apoptozu tetikleyebilmektedir (Gomes et al., 2023; Mirzaei et al., 2021). Bu çalışmanın amacı, kanser ve bağırsak mikrobiyotası arasındaki mekanizmanın daha iyi anlaşılmasını sağlayarak bu konuda farkındalık yaratmak ve bu konu hakkındaki güncel bilgileri bilimsel kanıtlara dayalı bir şekilde açıklamaktır.

2. KANSER ve MİKROBİYOTA ARASINDAKİ İLİŞKİ

Son dönemde insan mikrobiyomu üzerine yapılan çeşitli incelemelerde sağlıklı ve hastalıklı bireylerin mikrobiyotalarının birbirinden farklı bir bileşene sahip olduğu görülmektedir (Yang et al., 2023). Bağırsak mikrobiyotasında çeşitli faktörler nedeniyle meydana gelen değişiklikler,

bazı hastalıkların varlığını veya sağlık durumunun kötüleştiğini düşündürmektedir. Çünkü bağırsaktaki hassas bakteri dengesi bozuldukça bakteri çeşitliliği ve stabilite azalmakta ancak daha anlamlı sayıda patojenik mikrobiyota üretilmektedir. Mikrobiyotadaki bu olumsuz değişimler disbiyozise ve çeşitli hastalıkların patolojik süreçlerine sebep olmaktadır (Xie & Liu, 2024). Sağlıklı bireylerin bağırsak mikrobiyotasının büyük bir kısmını *Firmicutes* ve *Bacteroides* oluşturmakta ve bireyler arasında bu filumların oranları değişiklik gösterse bile büyük oranda korunmaktadırlar (Arnone et al., 2025). Mikrobiyata ve hastalıklar üzerine yapılan çalışmalar sonucunda kanser ve mikrobiyata arasında da anlamlı bir ilişkinin mevcut olduğu görülmüştür. Bu ilişkinin temelinde mikrobiyotanın karsinojeni etkileyerek tümör gelişimine ve ilerlemesine yol açabileceği fikri yer almaktadır (Azevedo et al., 2020). Bu fikrin üç yolla gerçekleşebileceği düşünülmüş; ilk olarak hücre poliferasyonu ve apoptoz dengesini değiştirmek, ikincisi bağışıklık sistemini ve yanıtları yeniden programlamak ve son olarak konak tarafından salgılanan faktörlerin, gıdaların ve ilaçların metabolizmasını etkilemektir (Yang et al., 2023).

Son dönemde kanser tedavisinde yeni adımlar atılmasına rağmen temel tedavi yöntemi olarak kemoterapi kullanılmaktadır. Ancak kemoterapiye bağlı toksisite, tedavi sırasında doz sınırlamasına veya bazı durumlarda tedavinin sonlandırılmasına yol açmaktadır. Son yıllarda yapılan çeşitli çalışmalar ise bağırsak mikrobiyotası ile kemoterapik ilaçların sebep olduğu toksisiteler arasında doğrudan veya dolaylı olarak bir ilişkinin mevcut olabileceğini göstermektedir (Luo & Zhou, 2022; Xu et al., 2024). Çeşitli faydaları olduğu bilinen prebiyotik ve probiyotiklerin bağırsak mikrobiyotası üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. Prebiyotikler pek çok faydalı etkileri bulunan kısa zincirli yağ asitlerinin üretiminde rol almaktadır. Kısa zincirli yağ asitleri apoptoz, tümör bağışıklığı ve hücre çoğalması gibi pek çok mekanizmada etkili olmaktadır. Aynı zamanda proinflamatuar sitokinleri baskıladığı ve kanser hücrelerinin apoptozunda histon deasetilazyonun inhibisyonu aracılığıyla rol aldığı bilinmektedir (Tegegne et al., 2025). Probiyotikler, Son dönemde kanser karşıtı etkileri nedeniyle kanser alanında merak uyandırmaktadır (Ahmad et al., 2025). Probiyotiklerin kanser ekseni üzerindeki etki mekanizmalarının temelinde TNF-α ve IL-6 gibi tümör oluşumunda rol oynayan sitokinleri azaltmak, anti-inflamatuar sitokin olan IL-10 seviyesini artırmak, kanserojen maddelerin üretimine neden olan enzimlerin seviyelerini ve diyet mutajenlerinin emilimini azaltmak gibi pek çok işlev yer almaktadır (Tegegne et al., 2025). Aynı zamanda probiyotikler, histon deasetilaz aktivitesi üzerinde de etkili olmaktadır (Śliżewska et al., 2020). Probiyotikler β-glukuronidaz üreten bakterileri baskılamaktadır. β-glukuronidaz, pre-karsinojenleri aktif kanserojenlere metabolize edebilen bir enzim çeşididir (Thu et al., 2023). Ayrıca probiyotik alımının, kanser tedavilerinde görülen ishal gibi bazı yan etkileri azalttığı da bilinmektedir (Raoul et al., 2024).

3. KANSER TÜRLERİ ve BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI

3.1. Kolorektal Kanser

Kolorektal kanser, dünya genelinde en sık rastlanan kanser türü ve kansere bağlı ölümlerin başlıca nedenlerinden biridir. Kolorektal kansere neden olan birçok risk faktörü tanımlanmıştır (Avuthu & Guda, 2022). Bu faktörler arasında yaş, hareketsiz yaşam, , cinsiyet, beslenme şekli ve bağırsak mikrobiyotası yer almaktadır (John Kenneth et al., 2023). Kolorektal kanserde,

Fusobacterium nucleatumun proinflamatuar bir mikro çevre oluşturduğu ve böylelikle karsinojenezin gelişiminde rol aldığı görülmektedir (Matsushita et al., 2020). Aynı zamanda kolorektal kanser ile genotoksik *Escherichia coli* ve *enterotoksijenik Bacteroides fragilisin* miktarının arttığı bildirilmiştir (Gong et al., 2023). Kanser hücrelerinin büyümesinin kontrolünde etkili olan probiyotiklerin, kolon kanserine karşı koruyucu etkisi bulunmaktadır. Bu etkinin temelinde *Lactobacillus rhamnosus GG* gibi suşlarla kolon epiteli ile doğrudan biyolojik etkileşimin var olduğu düşünülmektedir. Bu suşların kolon kanseri hücre hatlarında poliferasyonu baskıladıkları ve apoptozu teşvik ettikleri bilinmektedir (Thu et al., 2023). Aynı zamanda bazı probiyotik suşlarının, kanserojen maddeye dönüşümde rol alan azoredüktaz ve β-glukuronidaz gibi enzimlerin işlevini azaltarak kolorektal kanseri riskini azalttığı bildirilmektedir (Yadav et al., 2022). Antitümörjenik etkileri bilinen kısa zincirli yağ asitlerinden bütiratın kolorektal kanser üzerinde çeşitli yollar aracılığıyla etkileri bulunmaktadır. Bunların başında hücre farklılaşmasını inhibisyon, apoptozu teşvik, pro-inflamatuar sitokinlerin azaltmak ve histon asetilasyonunun modülasyonu yer almaktadır. Aynı zamanda propiyonatın da kanserli hücrelerde asetiasyonu indüklediği bilinmektedir (Gomes et al., 2023). İtalya'da yapılan bir çalışmadabir çalışmada, yoğurt tüketiminin (yüksek miktarda *Streptoccocus thermophilus* ve *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus bakterileri bulunmaktadır*) kolorektal kanser riski ile negatif yönde bir ilişkinin bulunduğu rapor edilmiştir (Thu et al., 2023). Güney Kore'de yürütülen bir çalışmada ise kolon kanseri hastalarında, cerrahi rezeksiyon işlemi sonrası probiyotik takviyesinin (*Lactobacillus casei HY2782*, *Bifidobacterium animalis subsp. lactis HY8002* ve *Lactobacillus plantarum HY7712)* cerrahi işlem sonrasında inflamatuar parametreleri ve mikrobiyota üzerinde meydana gelen değişimleri iyileştirdiği kaydedilmiştir (Park et al., 2020).

3.2. Meme Kanseri

Meme kanseri, kadınlarda görülen tüm kanser türlerinin yaklaşık üçte birini oluşturan ve yüksek ölüm oranına sahip bir kanser türüdür. Meme kanseri için çeşitli risk faktörleri tanımlanmaktadır (Xiong et al., 2025). İleri yaş, hareketsizlik, artan beden kitle indeksi veya obezite, ailede meme kanseri öyküsü, yüksek yağlı diyet, erken menarş, ilk gebeliğin ilerleyen yaşlarda gerçekleşmesi, emzirme süresinin kısalığı, tütün maruziyeti ve hormonal menopoz tedavisi kullanımı gibi faktörler meme kanserinin temel risk faktörleri olarak bilinmektedir. Meme kanserinin patogenezinde ve prognozunda, güncel çalışmalara göre malign hücrelerin özelliklerinin yanı sıra bağışıklık ve mikrobiyal parametreler de etkili olduğu belirlenmiştir (Arnone et al., 2025). Yapılan bir meta analiz çalışmada *lactobacillus*, *bifidobacterium* ve *streptoccoccus spp*. gibi probiyotiklerin ve fruktooligosakkarit (FOS) gibi prebiyotiklerin birlikte alımının meme kanserinde önemli bir proinflamatuar sitokin olan TNF-α'nın serum düzeylerini azalttığı tespit edilmiş ve bu probiyotiklerin hücre proinflamatuar sinyal yollarının aktivitesini baskılayarak TNF-α transkripsiyonunu inhibe edebileceği bildirilmiştir (Thu et al., 2023). Ayrıca bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitlerinin meme kanser hücrelerinin proliferasyonunu baskılayabileceği düşünülmektedir. Önemli kısa zincirli yağ asitlerinden olan bütirat, histon deasetilazı baskılayarak ve p21 üretimini teşvik ederek meme kanseri hücrelerinin proliferasyonunu inhibe etmektedir (Mirzaei et al., 2021).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kanser, yüksek ölüm oranları ve yaygınlığı nedeniyle dünya genelinde üzerinde durulan ve hakkında çeşitli çalışmalar yapılan önemli bir hastalıktır. Tedavi etkinliğini artırmak ve tedavi sırasında görülebilecek komplikasyonları azaltmak için pek çok çalışma yürütülmektedir. Bu araştırmalar arasında en çok dikkati çeken konu ise bağırsak mikrobiyotasıdır. Bağırsak mikrobiyotası ile yapılan çalışmalarda kanser de dahil olmak üzere pek çok hastalıkla ilişkili olduğu bildirilmektedir. Bağırsaktaki yararlı bakterilerin seviyesindeki düşüş ve mikrobiyotada görülen dengesizlik kanser için bir işaret olabilmektedir. Probiyotik ve prebiyotik kanser tedavisinde komplikasyonları azaltabileceği düşünülmektedir. Özellikle bağırsak mikrobiyotası tarafından üretilen kısa zincirli yağ asitlerinin kanser üzerinde olumlu etkileri bulunmaktadır. Proinflamatuar sitokinleri azaltarak, histon deasetilazyonunu baskılayarak ve hücre büyümesini engelleyerek kanserin önlenmesinde ve tedavisinde yararlı olabilmektedir. Özellikle son dönemde yapılan çalışmalarda, yaygın kanser türleri olan kolorektal ve meme kanseri üzerinde kısa zincirli yağ asitleri ile probiyotiklerin çeşitli yararlı etkilerine rastlanılmaktadır. Sonuç olarak kanserin önlenmesinde, tedavisinde ve komplikasyonların azaltılmasında probiyotik ve prebiyotiklerin önemi dikkat çekmektedir. Bu alanda yapılacak yeni çalışmalarda, mikrobiyotanın kanser türlerindeki etkisini açıklayan daha geniş ve çok merkezli araştırmalara ve diyet müdahalelerinin bu ilişki üzerindeki etkisini tanımlayan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmad, M. F., Ahmad, F. A., Alsayegh, A. A., Zeyaullah, Md., Babalghith, A. O., Faidah, H., Ahmed, F., Khanam, A., Mozaffar, B., Kambal, N., Bantun, F. Probiotics and Cancer: Mechanistic Insights and Organ-Specific Impact, Biomolecules, June, 15,6, 2025.

Akakpo, M. G., Owusu Roberts, E., Annobil, R., Aboagye, A. S. Perceptions about the causes and treatment of cancer – A cross-sectional survey of university students in Ghana, Preventive Medicine Reports, February, 32,32, 2023.

Arnone, A. A., Ansley, K., Heeke, A. L., Howard-McNatt, M., Cook, K. L. Gut microbiota interact with breast cancer therapeutics to modulate efficacy, EMBO Molecular Medicine, January, 17,5, 2025.

Avuthu, N., & Guda, C. Meta-Analysis of Altered Gut Microbiota Reveals Microbial and Metabolic Biomarkers for Colorectal Cancer, Microbiology Spectrum, June, 10,4, 2022.

Azevedo, M. M., Pina-Vaz, C., & Baltazar, F. Microbes and Cancer: Friends or Faux? *International Journal of Molecular Sciences*, April, *21*,9, 2020.

Cazzolla Gatti, R., Di Paola, A., Monaco, A., Velichevskaya, A., Amoroso, N., Bellotti, R. The spatial association between environmental pollution and long-term cancer mortality in Italy, Science of The Total Environment, January, 855,4, 2023.

Cui, Y., Xu, J., Zheng, Q., Wang, J., Xu, C., Zhang, M., Li, J., Tian, J. Genetically proxied gut microbiota and cancer risk: a scoping review of Mendelian randomization studies, Archives of public health = Archives belges de sante publique, August, 83,1, 2025.

Feitelson, M. A., Arzumanyan, A., Medhat, A., Spector, I. Short-chain fatty acids in cancer pathogenesis, Cancer and Metastasis Reviews, July, 42,3, 2023.

Gomes, S., Rodrigues, A. C., Pazienza, V., Preto, A. Modulation of the Tumor Microenvironment by Microbiota-Derived Short-Chain Fatty Acids: Impact in Colorectal Cancer Therapy, International Journal of Molecular Sciences, March, 24,6, 2023.

Gong, D., Adomako-Bonsu, A. G., Wang, M., Li, J. Three specific gut bacteria in the occurrence and development of colorectal cancer: A concerted effort, PeerJ, August, 11, 2023.

Hou, K., Wu, Z. X., Chen, X. Y., Wang, J. Q., Zhang, D., Xiao, C., Zhu, D., Koya, J. B., Wei, L., Li, J., Chen, Z. S. Microbiota in health and diseases, Signal Transduction and Targeted Therapy, April, 7,1, 2022.

John Kenneth, M., Tsai, H. C., Fang, C. Y., Hussain, B., Chiu, Y. C., Hsu, B. M. Diet-mediated gut microbial community modulation and signature metabolites as potential biomarkers for early diagnosis, prognosis, prevention and stage-specific treatment of colorectal cancer, Journal of Advanced Research, October, 52, 45–57, 2023.

Luo, Y., & Zhou, T. Connecting the dots: Targeting the microbiome in drug toxicity, Medicinal research reviews, January, 42,1, 2022.

Matsushita, M., Fujita, K., Nonomura, N. Influence of Diet and Nutrition on Prostate Cancer, International Journal of Molecular Sciences, February, 21, 4, 2020.

Mirzaei, R., Afaghi, A., Babakhani, S., Sohrabi, M. R., Hosseini-Fard, S. R., Babolhavaeji, K., Khani Ali Akbari, S., Yousefimashouf, R., Karampoor, S. Role of microbiota-derived short-chain fatty acids in cancer development and prevention, Biomedicine & Pharmacotherapy, April, 139,6, 2021.

Park, I. J., Lee, J. H., Kye, B. H., Oh, H. K., Cho, Y. B., Kim, Y. T., Kim, J. Y., Sung, N. Y., Kang, S. B., Seo, J. M., Sim, J. H., Lee, J. L., Lee, I. K. Effects of PrObiotics on the Symptoms and Surgical ouTComes after Anterior REsection of Colon Cancer (POSTCARE): A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Trial, Journal of Clinical Medicine, July, 9,7, 2020.

Raoul, P., De Gaetano, V., Sciaraffia, G., Ormea, G., Cintoni, M., Pozzo, C., Strippoli, A., Gasbarrini, A., Mele, M. C., Rinninella, E. Gastric Cancer, Immunotherapy, and Nutrition: The Role of Microbiota, Pathogens, April, 13,5, 2024.

Śliżewska, K., Markowiak-Kopeć, P., Śliżewska, W. The Role of Probiotics in Cancer Prevention, Cancers, December, 13,1, 2020.

Tegegne, B. A., Abebaw, D., Teffera, Z. H., Fenta, A., Belew, H., Belayneh, M., Jemal, M., Getinet, M., Baylie, T., Tamene, F. B., Belay, W. Y., Wondim, S. A., Zeleke, T. K. Microbial Therapeutics in Cancer: Translating Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, and Postbiotics From Mechanistic Insights to Clinical Applications: A Topical Review, The FASEB Journal, October, 39,20, 2025.

Thu, M. S., Ondee, T., Nopsopon, T., Farzana, I. A. K., Fothergill, J. L., Hirankarn, N., Campbell, B. J., Pongpirul, K. Effect of Probiotics in Breast Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis, Biology, February, 12,2, 2023.

Xie, Y., & Liu, F. The role of the gut microbiota in tumor, immunity, and immunotherapy, Frontiers in Immunology, June, 15, 2024.

Xiong, X., Zheng, L. W., Ding, Y., Chen, Y. F., Cai, Y. W., Wang, L. P., Huang, L., Liu, C. C., Shao, Z. M., Yu, K. D. Breast cancer: pathogenesis and treatments, Signal transduction and targeted therapy, February, 10,1, 2025.

Xu, Y., Du, H., Chen, Y., Ma, C., Zhang, Q., Li, H., Xie, Z., Hong, Y. Targeting the gut microbiota to alleviate chemotherapy-induced toxicity in cancer, Critical Reviews in Microbiology, September, 50,5, 2024.

Yadav, M. K., Kumari, I., Singh, B., Sharma, K. K., Tiwari, S. K. Probiotics, prebiotics and synbiotics: Safe options for next-generation therapeutics, Applied Microbiology and Biotechnology, January, 106,2, 2022.

Yang, L., Li, A., Wang, Y., Zhang, Y. Intratumoral microbiota: Roles in cancer initiation, development and therapeutic efficacy, Signal Transduction and Targeted Therapy, January, 8,1, 2023.

Yin, W., Wang, J., Jiang, L., James Kang, Y. Cancer and stem cells, Experimental Biology and Medicine, August, 246,16, 2021.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE ÖĞRENCİ SPORCULAR İÇİN HAFTALIK MENÜ PLANLAMASI: BESİN İHTİYAÇLARI VE MALİYET OPTİMİZASYONU

Sevilay GÖNCE *
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
sevilaay.10@gmail.com – https://orcid.org/0009-0009-8371-2815

Alkım Doğaç GENÇ
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
galkimdogac@gmail.com – https://orcid.org/0009-0000-5042-9962

Dr. Öğr. Üyesi Demet ÇANGA BOĞA
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
demetcangaboga@ohu.edu.tr – https://orcid.org/0000-0003-3319-7084

ÖZET

Bu çalışma, öğrenci sporcuların beslenme gereksinimlerini karşılayacak haftalık menülerin planlanmasında doğrusal programlama (Linear Programming – LP) yönteminin kullanılmasını ele almaktadır. Sporcu beslenmesi, yalnızca fiziksel performansın değil, aynı zamanda zihinsel performans ve akademik başarının sürdürülebilmesi açısından da kritik öneme sahiptir. Ancak toplu beslenme yapılan ortamlarda menü planlama, besin dengesinin sağlanması, maliyetlerin kontrol edilmesi, çeşitliliğin korunması ve operasyonel kısıtların gözetilmesi gibi çok sayıda değişken nedeniyle karmaşık bir karar verme problemine dönüşmektedir.

Bu kapsamda, çalışmada doğrusal programlama modelinin temel bileşenleri olan karar değişkenleri, amaç fonksiyonu ve kısıtlar öğrenci sporcu menüleri bağlamında ele alınmıştır. Modelde; enerji, protein, karbonhidrat ve yağ gibi besin öğeleri için alt ve üst sınırlar tanımlanarak, sporcuların gereksinimlerini karşılayan menüler oluşturulması hedeflenmiştir. Aynı zamanda, belirli yemeklerin aynı öğünde birlikte sunulmamasına yönelik uyum kuralları ile toplam maliyeti sınırlayan bütçe kısıtları da modele dâhil edilmiştir.

Çalışma sonucunda, doğrusal programlama yaklaşımı ile öğrenci sporcular için hem besin açısından yeterli ve dengeli hem de maliyet açısından optimize edilmiş menüler tasarlanabileceği ortaya konmuştur. Böylece, doğrusal programlama tekniği; toplu beslenme sistemlerinde, özellikle öğrenci sporcular gibi özel gereksinimleri olan gruplar için etkili bir matematiksel modelleme ve karar destek aracı olarak önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: doğrusal programlama, menü planlama, öğrenci sporcular, beslenme, maliyet optimizasyonu

1. GİRİŞ

Beslenme, yaşamın sürdürülmesi ve sağlığın korunması için gerekli besin öğelerinin vücuda alınmasıdır (Çalışkan, 2022:1139). Dengeli beslenme, vücudun gereksinim duyduğu protein,

karbonhidrat, yağ, vitamin ve minerallerin uygun miktar ve oranlarda alınması, bunun yanında işlenmiş gıdalardan, trans yağlardan ve aşırı tuz-şeker tüketiminden kaçınılması anlamına gelmektedir (Altın ve Şimşek, 2024:552). Yeterli ve dengeli beslenme, bireyin günlük yaşamda ve çalışma hayatında göstereceği performans üzerinde doğrudan etkilidir (Çongar ve Özdemir, 2004).

Sporcular söz konusu olduğunda, beslenme gereksinimleri fiziksel aktivite düzeyi, yapılan spor branşı, antrenman sıklığı, cinsiyet ve yaş gibi faktörlere bağlı olarak artmakta ve farklılaşmaktadır (Çalışkan, 2022:1139). Yetersiz enerji ve besin öğesi alımı, performans kaybına, sakatlanma riskinin artmasına ve toparlanma süresinin uzamasına neden olabilir. Bu nedenle, özellikle öğrenci sporcular gibi hem akademik hem sportif performans göstermesi beklenen gruplarda, beslenme planı daha da kritik bir hale gelmektedir.

Toplu beslenme yapılan kurumlarda (yurt, kamp, okul vb.) menü planlama; hangi öğünde hangi yemeğin, hangi miktarda ve hangi sıklıkla verileceği gibi kararları içerir. Bu süreçte, besin dengesi yanında maliyet, mutfak imkânları, personel kapasitesi, tüketici alışkanlıkları ve mevsimsellik gibi etkenlerin birlikte ele alınması gerekmektedir (Beyhan, 1998: 72-80). Tüm bu faktörler bir arada düşünüldüğünde menü planlama, çok sayıda değişken ve kısıt içeren karmaşık bir optimizasyon problemi niteliği taşımaktadır.

Geleneksel yöntemlerle (deneme-yanılma, sezgisel kararlar vb.) yapılan planlamalarda, hem maliyet hem de besin dengesi ve çeşitlilik açısından istenilen düzeye ulaşmak zorlaşmakta, ayrıca süreç zaman alıcı ve hata yapmaya açık hale gelmektedir (Ediz ve Yağdıran, 2009:48). Bu noktada, özellikle son yıllarda matematiksel modelleme teknikleri ve doğrusal programlama menü planlama alanında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Bu derlemenin amacı, öğrenci sporcular için optimal menü planlaması problemini ve bu problemin çözümünde etkili bir araç olan doğrusal programlama yaklaşımını sistematik bir çerçeve içinde sunmaktır. Çalışmada; menü planlamanın temel zorlukları, toplu beslenme sistemlerindeki uygulama boyutu, LP modelinin bileşenleri ve sporcu beslenmesine özgü kısıtlar birlikte ele alınarak, örnek bir model yapısı ve literatür desteği ortaya konulmaktadır.

1.1. Öğrenci Sporcuların Özel Beslenme İhtiyaçları

Öğrenci sporcular, bir yandan akademik başarı için zihinsel performans sergilerken, diğer yandan düzenli antrenmanlar ve müsabakalarla yoğun fiziksel efor harcarlar. Bu ikili yük, beslenmelerinin hem enerji hem de mikro/makro besin ögeleri açısından titizlikle planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Enerji harcamasındaki artış, özellikle karbonhidrat ve protein gereksinimlerini yükseltmekte; yeterli sıvı ve elektrolit alımı da performans ve toparlanma açısından kritik hale gelmektedir (Demir, Onur ve Mızrak, 2019).

Bu nedenle öğrenci sporcular için hazırlanacak menülerde;

Günlük enerji gereksiniminin doğru hesaplanması,

Bu enerjinin karbonhidrat, protein ve yağ arasında dengeli dağıtılması,
Vitamin ve mineral gereksinimlerinin karşılanması,
Öğün zamanlamalarının antrenman ve ders programlarıyla uyumlu olması
önem taşımaktadır. Bu gereksinimlerin tümü, menü planlama sürecinde sayısallaştırılabilir kriterler olarak doğrusal programlama modeline dahil edilebilmektedir.

1.2. Menü Planlamanın Zorlukları

Menü; toplu beslenme sistemlerinde belirli bir öğünde ya da gün içinde sunulacak yemeklerin listesi olarak tanımlanır (Sarıtaş ve Sormaz, 2020). Bir işletmenin başarısı büyük ölçüde menü planlamasının doğruluğuna bağlıdır. Çünkü menü;

Maliyetleri,
Tüketici memnuniyetini,
İş gücü ve ekipman kullanımını,
Gıda güvenliği ve israf düzeyini
doğrudan etkiler (Beyhan, 1998). Bu karmaşık yapı nedeniyle menü planlama sürecinde;

Besin dengesi (enerji, makro ve mikro besinler),
Maliyet ve bütçe sınırlamaları,
Çeşitlilik ve tekrar sıklığı,
Mevsimsel ürün kullanımı,
Mutfak kapasitesi, personel sayısı ve bilgi düzeyi,
Tüketici alışkanlıkları ve kültürel uyum

gibi faktörlerin aynı anda göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu da manuel yöntemlerle optimum çözüme ulaşmayı güçleştirmektedir.

1.3. Doğrusal Programlama (LP) Nedir ve Neden Kullanılır?

Doğrusal programlama; belirli bir amaç fonksiyonunu (genellikle maliyeti minimize etme veya kârı maksimize etme) sağlayacak şekilde, doğrusal kısıtlar altında karar değişkenlerinin en uygun değerlerini bulmayı hedefleyen bir matematiksel tekniktir (Polat ve Sarı, 2019). Modelde;

Sistem bileşenlerinin sembolik ifadesi matematiksel model ,
Yöneticinin kontrol edebildiği büyüklükler karar değişkenleri ,
Bu değişkenlerin uyması gereken eşitlik/eşitsizlikler kısıtlar ,
Optimizasyon amacı ise amaç fonksiyonu olarak tanımlanır (Gürbüz ve Cömert, 2012).
Matematiksel modeller, gerçek sistemi deneme-yanılma yoluyla test etmekten hem daha ucuz hem de daha hızlıdır. Çok sayıda olası kombinasyonun bulunduğu problem tiplerinde, en iyi kombinasyonu elle bulmak çoğu zaman mümkün değildir. LP ise tüm kombinasyonları sistematik biçimde değerlendirmeye imkân tanır ve optimum çözümü garanti eder. Bu özellikleriyle doğrusal programlama; üretim planlama, kaynak tahsisi, nakliye problemleri ve beslenme optimizasyonu gibi pek çok alanda başarıyla uygulanmaktadır (Polat ve Sarı, 2019).

Bu çalışmada, bu teknikten yararlanarak öğrenci sporcular için besin gereksinimlerini karşılayan ve maliyeti minimize eden haftalık menüler oluşturulması hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ: MENÜ PLANLAMA VE DOĞRUSAL PROGRAMLAMA

Literatürde, toplu beslenme sistemlerinde menü planlamaya yönelik birçok çalışmada doğrusal ve hedef programlama modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmaların ortak noktası, menü planlamanın rastlantısal değil, bilgisayar destekli ve matematiksel modellere dayalı olarak yürütülmesi gerektiğini vurgulamalarıdır (Altın ve Şimşek, 2024; Ediz ve Yağdıran, 2009; Baykasoğlu, Taşkıran ve Akkoyun, 2016).

2.1. Toplu Beslenme Sistemlerinde Menü Planlamanın Karmaşıklığı

Toplu beslenme yapılan kurumlarda sıklıkla set (seçimsiz) menüler kullanılmaktadır. Bu menüler, tüketiciye seçim hakkı tanımadan 3–4 çeşit yemekten oluşan sabit bir öğün sunar (Beyhan ve Ciğerim, 1995). Set menüler, maliyet kontrolü, üretim planlaması ve servis kolaylığı açısından avantaj sağlarken, planlamacının besin dengesi ve çeşitlilik kriterlerini daha dikkatli yönetmesini gerektirir.

Beyhan ve Ciğerim (1995), toplu beslenme sistemlerinde menü iskeletini üç ana grup yemek üzerine kurmaktadır:

Birinci Grup (Ana Yemekler): Et yemekleri, etli sebze yemekleri, etli dolma ve sarmalar, yumurtalı yemekler vb.

İkinci Grup (Yardımcı Yemekler): Çorbalar, pilavlar, makarnalar, börekler, zeytinyağlı sebzeler.

Üçüncü Grup (Tamamlayıcılar): Salatalar, meyveler, tatlılar, komposto, hoşaf, cacık/ayran gibi içecekler.

Bu gruplar arasında tat, kıvam, renk ve besin öğesi tekrarını önleyen geleneksel uyum kuralları tanımlanmıştır. Örneğin; pilavla birlikte pirinç içeren dolma sunulmaması, zeytinyağlı sebze yanına ayrıca salata verilmemesi, çorba olan öğünde fazladan sıvı içeren yiyeceklerin (komposto, ayran vb.) sınırlandırılması gibi kurallar (Beyhan ve Ciğerim, 1995). Bu tür kurallar, doğrusal programlama modelinde ikili kısıtlar şeklinde ifade edilerek, istenmeyen kombinasyonlar otomatik olarak engellenebilir.

2.2. Menü Planlamada Matematiksel Modellerin Rolü

Ediz ve Yağdıran (2009), hedef programlama yaklaşımını kullanarak menü planlaması yapmış ve geleneksel yöntemlere göre önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlanabileceğini göstermiştir. Baykasoğlu, Taşkıran ve Akkoyun (2016) ise toplu beslenme sistemleri için geliştirdikleri karar destek sistemi ile menü maliyetlerini optimize ederken, aynı zamanda planlama süresini de kısaltmışlardır.

Matematiksel modelleme;

Maliyet,
Besin dengesi,

Porsiyon kontrolü,
Menü çeşitliliği

gibi farklı hedefleri birlikte ele alabilmekte ve karar vericiye nesnel ve tekrarlanabilir çözümler sunmaktadır. Bu yönüyle doğrusal programlama temelli karar destek sistemleri, modern toplu beslenme yönetiminin önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir (Baykasoğlu vd., 2016).

2.3. Sporcu Beslenmesi ve Özel Gereksinimler

Sporcuların günlük enerji ve besin öğesi gereksinimleri, durağan bireylere göre daha yüksektir. Bu nedenle menü planlamasında;

Artan enerji harcamasını karşılayacak karbonhidrat ağırlığı,
Kas dokusunun onarımı ve gelişimi için yeterli protein ,
Hormon dengesi ve yağda çözünen vitaminlerin emilimi için uygun düzeyde yağ ,
Yoğun terleme nedeniyle artan sıvı ve elektrolit ihtiyacı
dikkate alınmalıdır (Demir, Onur ve Mızrak, 2019). Özellikle öğrenci sporcularda, bu gereksinimlerin öğün zamanlaması ile birlikte ele alınması önem taşımaktadır.

Doğrusal programlama modeli, bu besin öğesi gereksinimlerini alt ve üst sınırlar şeklinde tanımlayarak, oluşturulacak menülerin tümünün bu sınırlar içinde kalmasını garantileyebilir. Böylece, manuel planlamada gözden kaçabilecek dengesizlikler (örneğin, ardışık günlerde yetersiz protein alımı veya aşırı yağ tüketimi gibi) sistematik biçimde önlenmiş olur.

3. ÖĞRENCİ SPORCULAR İÇİN ÖRNEK BİR DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

3.1. Problemin Tanımı

Bu çalışmada ele alınan problem, öğrenci sporculara hizmet veren bir toplu beslenme sisteminde, örneğin 5 iş günü boyunca sunulacak öğünlerin planlanmasıdır. Modelin temel amaçları şunlardır:

Sporcu beslenmesi ilkeleri doğrultusunda, günlük enerji ve makro besin gereksinimlerini karşılamak,
Geleneksel menü uyum kurallarına uymak ve kabul edilemeyecek yemek kombinasyonlarını engellemek,
Tüm bunları yaparken toplam haftalık maliyeti minimize etmek .
Bu üç amaç, problemi çok kısıtlı bir doğrusal programlama problemi haline getirmektedir.

3.2. Modelin Temel Bileşenleri

Modelin çözümünde belirlenecek olan, yani "neye karar vereceğimizi" temsil eden değişkenlerdir:

- y_i (İkili Karar Değişkeni): Menüde i numaralı yemeğin seçilip seçilmediğini belirtir. Yemek seçildiyse 1, seçilmediyse 0 değerini alır. Örneğin, $y_{"Köfte"} = 1$.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

- x_i (Sürekli Karar Değişkeni): i numaralı yemeğin porsiyon cinsinden ne kadar kullanılacağını belirtir. Örneğin, $x_{"Pilav"} = 1.5$ (1.5 porsiyon).

3.2.1. Amaç Fonksiyonu

Modelin nihai amacını matematiksel olarak ifade eder. Bu problemde amaç, toplam maliyeti minimize etmektir:

$$\min Z = \sum_i (c_i \times x_i)$$

Burada c_i, i yemeğinin bir porsiyonunun maliyetini, x_i ise porsiyon miktarını temsil eder. Toplam maliyet Z, tüm seçilen yemeklerin (porsiyon miktarı ile çarpılmış) maliyetlerinin toplamıdır.

3.2.2.Kısıtlar

Menü İskeleti Kısıtları:

Her öğünde, birinci grup (ana yemek), ikinci grup (yardımcı yemek) ve üçüncü grup (tamamlayıcı) için tam olarak birer yemek seçilmelidir.

Besin Ögesi Kısıtları:

Günlük enerji ve besin öğesi alımı, belirlenen aralıklarda olmalıdır. Örneğin:

- **Enerji:** $E_{min} \leq \sum(kcal_i \times x_i) \leq E_{max}$
- **Protein:** $\sum(prot_i \times x_i) \geq P_{min}$
- **Karbonhidrat:** $\sum(cho_i \times x_i) \geq CHO_{min}$
- **Yağ:** $\sum(fat_i \times x_i) \leq Fat_{max}$
  Burada $kcal_i, prot_i, \ldots$, her bir yemeğin porsiyon başına besin değerleridir.

Aynı öğünde birlikte sunulması istenmeyen yemek çiftleri için:Uyum Kuralları (İkili Yasaklar):

$$y_a + y_b \leq 1$$

Bütçe Kısıtı: Haftalık toplam maliyet belirli bir bütçeyi aşmamalıdır:

$$\sum(c_i \times x_i) \leq B$$

3.3. Uygulamaya Yönelik Öneriler

Model, CPLEX, Gurobi veya GLPK gibi optimizasyon çözücüleriyle çözülebilir.

Daha geniş kullanıcı kitlesine ulaşmak için Excel Çözücü veya web tabanlı bir **karar destek sistemi** arayüzü geliştirilebilir.

Model, tek gün yerine haftanın tamamı için genişletilebilir; bu durumda karar değişkenlerine gün indeksi eklenir ve yemeklerin hafta içinde tekrar sayısı sınırlandırılabilir.

Modelin başarısı, kullanılan yemeklerin maliyet ve besin değeri verilerinin güncelliğine bağlı olduğundan, **güvenilir bir yemek veri tabanının** kurulması gerekmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Literatür Bağlamında Değerlendirme

Literatürdeki uygulamalar, doğrusal programlamanın menü planlama problemlerine etkili ve pratik çözümler sunduğunu göstermektedir. Örneğin, Ediz ve Yağdıran (2009), hedef programlama ile bir yemekhane için menü planlamış ve maliyet açısından belirgin iyileşmeler elde etmişlerdir. Baykasoğlu vd. (2016) ise geliştirdikleri karar destek sistemiyle maliyet optimizasyonuna ek olarak planlama süresini kısaltmış ve kaynak israfını azaltmışlardır.

Doğrusal programlama aynı zamanda besin dengesi garantisi sağlar. Bu alandaki en bilinen tarihsel çalışmalardan biri, Stigler'in 1945 tarihli beslenme maliyet optimizasyonu problemidir. Daha yakın dönemde Oruç (2014), bulanık hedef programlama yaklaşımıyla besin ögesi kısıtlarını menü planlama modeline entegre etmiş ve beslenme yeterliliğinin matematiksel olarak güvence altına alınabileceğini göstermiştir.

Benzer şekilde, Kocadal (2025) süt sığırı rasyonlarının optimizasyonunda doğrusal programlama kullanarak, hayvan beslemede de aynı mantığın geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Bu, doğrusal programlamanın beslenme optimizasyonu alanında evrensel bir araç olduğunu desteklemektedir.

4.2. Potansiyel Faydalar

Maliyet Kontrolü: Toplam maliyeti minimize eden bir amaç fonksiyonu sayesinde, özellikle bütçesi kısıtlı kurumlar (yurtlar, spor kampları vb.) için önemli maliyet avantajları sağlanabilir (Ediz ve Yağdıran, 2009; Baykasoğlu vd., 2016).

Besin Dengesinin Sağlanması: Enerji ve makro besin ögeleri için tanımlanan alt ve üst sınırlar, menülerin sporcu beslenmesi açısından yeterli olmasını otomatik olarak garanti eder (Oruç, 2014).

Zaman Tasarrufu: Karar destek sistemleri, manuel menü planlamaya kıyasla önemli ölçüde zaman kazandırır ve planlamacıların iş yükünü azaltır (Baykasoğlu vd., 2016).

Nesnellik ve Şeffaflık: Kararlar, kişisel tercihler yerine sayısal verilere ve matematiksel kurallara dayanır. Bu da süreci şeffaf ve savunulabilir kılar (Polat ve Sarı, 2019; Gürbüz ve Cömert, 2012).

4.3. Sınırlılıklar ve Gelecek Çalışmalar

Modelin başarısı, doğru ve güncel veri gerektirir. Sarıtaş ve Sormaz (2020), maliyet ve tedarik verilerine erişimin menü planlamada önemli bir zorluk olduğunu belirtmektedir; aynı durum besin değerleri için de geçerlidir. Ayrıca, lezzet ve tüketici beğenisi gibi niteliksel faktörleri modele tam anlamıyla yansıtmak güçtür. Oruç (2014), bu tür belirsiz hedefler için bulanık mantık tabanlı modeller önermektedir.

Gelecek araştırmalar için:

Bulanık mantık entegrasyonu ,

Çok amaçlı optimizasyon (maliyet, lezzet, çeşitlilik vb. birlikte),
Dinamik ve gerçek zamanlı modeller (fiyat ve tedarik değişimlerini içeren),
Diyetisyen ve menü planlamacılarının kolayca kullanabileceği kullanıcı dostu karar destek sistemleri
önerilmektedir.

5.SONUÇ

Bu derleme, doğrusal programlamanın öğrenci sporcular için haftalık menü planlamasında güçlü, esnek ve sistematik bir araç olduğunu ortaya koymuştur. Doğrusal programlama ile; enerji ve besin gereksinimleri karşılanırken, maliyet minimizasyonu sağlanmakta ve menü iskeleti ile uyum kuralları aynı model içinde ele alınabilmektedir. Bununla birlikte, modelin pratikte etkili olabilmesi için, doğru veri tabanları, güncel maliyet ve besin değerleri, kullanıcı dostu yazılım arayüzleri ve niteliksel faktörlerin mümkün olduğunca modele yansıtılması gerekmektedir.

En uygun yaklaşım, doğrusal programlamayı; diyetisyenin bilimsel bilgisi ve şefin mutfak deneyimi ile birleştiren hibrit bir sistem olarak görmektir. Böylece öğrenci sporcuların performansını destekleyen, ekonomik ve sürdürülebilir beslenme programları geliştirilebilir.

KAYNAKÇA

Altın, G. Şimşek, A.B. (2024). Toplu Beslenme Yerlerinde Optimal Menü Planlaması: Matematiksel Model Yaklaşımı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Sayı: (2024). 552-566.

Baykasoğlu, A. Taşkıran, D. Akkoyun H. G. (2016). Toplu beslenme için menü planlama karar destek sistemi geliştirilmesi ve uygulanması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, sAYI:31, (1). 191 200.

Baysal, A., Kutluay, M. (1986). Toplu Beslenme Yapılan Kurumlar İçin Yemek Planlama Kuralları ve Yıllık Yemek Listeleri. Ankara: Milli Prodüktivite Merkezi.

Beyhan, y. (1998). Toplu Beslenme Yapılan Kurumlarda Yönetim ve Organizasyon: Toplu Beslenme Sistemlerinde Menü Yönetim ve Denetimi. Hizmet İçi Eğitim Seminerleri: 5-9 Ekim 1998-Ankara. Türkiye Diyetisyenler Derneği Yayını, 11, 72-80.

Beyhan, Y., Ciğerim, N. (1995). Toplu Beslenme Sistemlerinde Menü Yönetimi ve Denetimi. Ankara: Kök Yayıncılık.

Çalışkan, S. (2022) Sporcu Kamplarında Sporcu Beslenmesi ve Menü Planlama. 22. Ulusal Turizm Kongresi (Spor Turizmi). 27-29 Ekim 2022 Burdur. Detay Yayıncılık, Ankara. 1137-1144.

Çongar, O., Özdemir, L., (2004). Sivas il merkezinde beden eğitimi öğretmenlerinin genel beslenme ve sporcu beslenmesi ile ilgili bilgi düzeyleri, Cumhuriyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi, 26, (3). 113-118.

Ediz, A. Yağdıran, Y. (2009). Hedef Programlama Tekniği İle Menü Planlaması. Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Sayı:11/1. 45-74

Gürbüz, H. Cömert, E. (2012). Bakım Planlama Faaliyetlerinde Tamsayılı Doğrusal Programlama ve Bir Uygulama. Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, Sayı:4(7). 101-122.

Kocadal Ç.H. (2025). *Süt Sığırı Rasyonlarının Optimizasyonunda Doğrusal Programlama Uygulaması.* Yüksek Lisans Tezi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Zootekni/Hayvan Besleme Anabilim Dalı.

Oruç, K.O. (2014). Bulanık Hedef Programlama İle Menü Planlama. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, Sayı:23. 33-51.

Polat, T.K. Sarı, H. (2019). Doğrusal Programlama ve Bulanık Doğrusal Programlama. Ankara: İksad Yayınevi.

Pulat Demir, H. Onur, H.N. Mızrak, E. (2019). 18 Yaş altı spor yapan adölesanların yaşam kalitesi ve beslenme durumu ilişkisinin incelenmesi, Avrasya Spor Bilimleri Araştırmaları, 4, (2). 121-131.

Sarıtaş, A. Sormaz, Ü. (2020). Otel ve restoran mutfak şeflerinin menü planlaması ve analizi konusuna yaklaşımları: Konya örneği. Gastroia: Journal of Gastronomy and Travel Research, Sayı:4, (1). 136-158.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

WEB TABANLI DİJİTAL DAYANIŞMA PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ, ANALİZİ VE TASARIMI: AFET YARDIMLAŞMA PLATFORMU

Emirhan YILDIZ
İstanbul Arel Üniversitesi,
emirhanyildiz231@istanbularel.edu.tr - 0009-0002-0094-8240

Öğr. Gör. Aslıhan KARATAŞ
İstanbul Beykent Üniversitesi,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

Yusuf Mehmet Can KARATAŞ
Bursa Uludağ Üniversitesi,
mehmetcankrts00@gmail.com - 0009-0002-2700-3677

ÖZET

Doğal afetler, toplumların karşılaştığı en büyük insani krizlerden biridir ve hızlı ve etkin yardım organizasyonu bu süreçte kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, afet anlarında ihtiyaç sahipleri ile yardımseverleri buluşturmayı amaçlayan, modern web teknolojileriyle geliştirilen bir platformun tasarım ve uygulama sürecini ele almaktadır. Afet Yardımlaşma Platformu, PHP tabanlı MVC mimarisi üzerine inşa edilmiş olup, kullanıcı dostu ve mobil uyumlu bir arayüz sağlamak amacıyla Tailwind CSS ve Alpine.js teknolojileri kullanılarak geliştirilmiştir. Verilerin güvenli ve esnek bir şekilde yönetilmesi için MySQL veritabanı tercih edilmiştir. Platformun tasarımında, kullanıcı gereksinimlerinin doğru belirlenmesi ve olası sorunların erken aşamada tespit edilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, kök neden analizi için balık kılçığı diyagramı ve sistemin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi için SWOT analizi kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin temel bileşenleri arasındaki ilişkileri netleştirmek için akış diyagramları ve varlık ilişki diyagramları (ERD) oluşturulmuştur. Platform, kullanıcıların acil durum taleplerini oluşturmasına, kategori ve konum bazlı filtreleme yapmasına ve deprem verilerini anlık olarak takip etmesine olanak tanır. Acil durum bildirimleri ve bağış modülü, yardımların hızlı ve etkin bir şekilde organize edilmesini sağlamaktadır. Gemini yapay zeka entegrasyonu sayesinde, kullanıcıların sorularına anında yanıt verilmekte, böylece kullanıcı deneyimi ve sistem etkinliği artırılmaktadır. Yönetim paneli üzerinden yöneticiler, yardım taleplerini onaylayabilir, duyurular oluşturabilir ve sistemi kontrol edebilirler. Ayrıca, dağıtım noktalarını harita üzerinde gösterme özelliği, lojistik süreçlerin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, Afet Yardımlaşma Platformu, ihtiyaç sahipleri ve yardımseverler arasında köprü kurarak toplumsal dayanışmayı güçlendirmekte ve afetlerin yıkıcı etkilerini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Gelecekte, platformun daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet Yönetimi, Dijital Dayanışma, Web Uygulaması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT, ANALYSIS AND DESIGN OF A WEB-BASED DIGITAL SOLIDARITY PLATFORM: DISASTER ASSISTANCE PLATFORM

Emirhan YILDIZ
Istanbul Arel University,
emirhanyildiz231@istanbularel.edu.tr - 0009-0002-0094-8240

Lecturer Aslıhan KARATAŞ
Istanbul Beykent University,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

Yusuf Mehmet Can KARATAŞ
Bursa Uludağ University,
mehmetcankrts00@gmail.com - 0009-0002-2700-3677

ABSTRACT

Natural disasters are one of the biggest humanitarian crises that societies face, and fast and effective aid organization is of critical importance in this process. This study addresses the design and implementation process of a platform developed with modern web technologies that aims to bring together those in need and benefactors in times of disaster. The Disaster Aid Platform is built on PHP-based MVC architecture and has been developed using Tailwind CSS and Alpine.js technologies to provide a user-friendly and mobile-compatible interface. MySQL database has been preferred for secure and flexible data management. In the design of the platform, it is important to correctly determine user requirements and to identify potential problems at an early stage. For this purpose, fishbone diagrams were used for root cause analysis and SWOT analysis was used to determine the strengths and weaknesses of the system. In addition, flow diagrams and entity relationship diagrams (ERD) were created to clarify the relationships between the basic components of the system. The platform allows users to create emergency requests, filter by category and location, and track earthquake data instantly. The emergency notifications and donation module ensure that aid is organized quickly and effectively. Thanks to Gemini AI integration, users' questions are answered instantly, thus increasing user experience and system efficiency. Administrators can approve requests for assistance, create announcements and control the system via the management panel. In addition, the ability to display distribution points on the map contributes to optimizing logistics processes. As a result, the Disaster Assistance Platform strengthens social solidarity by building a bridge between those in need and benefactors and plays an important role in reducing the devastating effects of disasters. In the future, the platform is aimed to be further developed.

Keywords: Disaster Management, Digital Solidarity, Web Application

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

UZAKTAN EĞİTİMDE ETKİLEŞİM VE REHBERLİK İÇİN WEB TABANLI EĞİTİM PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ: MENTORUM

Ahmet Ege SANDAL
İstanbul Arel Üniversitesi,
ahmetegesandal94@gmail.com - 0009-0002-9309-0246

Sena AĞAÇYETİŞTİREN
İstanbul Arel Üniversitesi,
senaagacyetistiren@gmail.com- 0009-0001-9420-2521

Niyazi Emir AKDEMİR
İstanbul Arel Üniversitesi,
akdemirniyaziemir@gmail.com - 0009-0001-2122-2994

Muhammed Ufuk ASLAN
İstanbul Arel Üniversitesi,
ufukaslan1903u@gmail.com - 0009-0009-6057-9185

Öğr. Gör. Aslıhan KARATAŞ
İstanbul Beykent Üniversitesi,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

ÖZET

Günümüzde dijital teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte, eğitim alanında çevrim içi etkileşimi artıran yenilikçi çözümlere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu çalışma, öğrencilerle eğitmenleri bir araya getirerek birebir mentorluk ve özel ders süreçlerini dijital ortama taşıyan Mentorum adlı web tabanlı platformun tasarım ve geliştirme sürecini konu almaktadır. Platform, kullanıcı dostu arayüzü ve esnek yapısıyla, öğrenci, veli ve eğitmen arasında güçlü bir iletişim ağı kurmayı hedeflemektedir. Arayüz tasarımında React.js ve Next.js teknolojileri tercih edilmiştir. Sunucu tarafında Node.js tabanlı bir yapı, veri yönetiminde ise MySQL veri tabanı kullanılmıştır. Gerçek zamanlı iletişim için Socket.io, canlı ders özelliği için ise Jitsi entegrasyonu uygulanmıştır. Proje sürecinde, kullanıcı gereksinimleri detaylı biçimde analiz edilmiş, olası sorunların erken tespiti amacıyla balık kılçığı diyagramı, sistemin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için ise SWOT analizi yapılmıştır. Ayrıca, sistemin bileşenleri ve veri yapısı arasındaki ilişkileri açıklamak üzere akış diyagramları ve Varlık-İlişki Diyagramı (ERD) hazırlanmıştır. Mentorum; canlı ders

rezervasyonu, anlık mesajlaşma, rozet sistemi, öne çıkarma (boost) özelliği ve iki aşamalı kimlik doğrulama (2FA) gibi fonksiyonlarla kullanıcılarına güvenli ve etkileşimli bir öğrenme deneyimi sunmaktadır. Yönetici paneli sayesinde sistemin genel işleyişi, kullanıcı yönetimi ve destek talepleri tek merkezden kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, platformun ölçeklenebilir mimarisi, ilerleyen dönemde yapay zekâ destekli öneri sistemleri ve öğrenme analitiği gibi yeni modüllerin eklenmesine uygun bir altyapı sağlamaktadır. Sonuç olarak Mentorum, modern web teknolojileriyle geliştirilmiş, etkileşimi ve öğrenme motivasyonunu ön planda tutan bir çevrim içi mentorluk platformu olarak tasarlanmıştır. Gelecekte mobil sürüm ve gelişmiş istatistik modülleriyle sistemin kapsamının genişletilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Web Tabanlı Eğitim, Mentorluk, Gerçek Zamanlı İletişim, Eğitim Teknolojileri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF A WEB-BASED EDUCATION PLATFORM FOR INTERACTION AND GUIDANCE IN DISTANCE EDUCATION: MENTORUM

Ahmet Ege SANDAL
Istanbul Arel University,
ahmetegesandal94@gmail.com - 0009-0002-9309-0246

Sena AĞAÇYETİŞTİREN
Istanbul Arel University,
senaagacyetistiren@gmail.com - 0009-0001-9420-2521

Niyazi Emir AKDEMİR
Istanbul Arel University,
akdemirniyaziemir@gmail.com - 0009-0001-2122-2994

Muhammed Ufuk ASLAN
Istanbul Arel University,
ufukaslan1903u@gmail.com - 0009-0009-6057-9185

Lecturer Aslıhan KARATAŞ
Istanbul Beykent University,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

ABSTRACT

With the rapid advancement of digital technologies, the need for innovative solutions that enhance online interaction in the field of education has been increasing steadily. This study focuses on the design and development process of Mentorum, a web-based platform that brings together students and instructors, transferring one-on-one mentoring and private lesson experiences to a digital environment. The platform aims to establish a strong communication network among students, parents, and instructors through a user-friendly interface and flexible structure. React.js and Next.js technologies were used in the interface design, while a Node.js-based architecture was implemented on the server side. MySQL was preferred for data management, Socket.io for real-time communication, and Jitsi integration for the live lesson feature. Throughout the project, user requirements were thoroughly analyzed. A fishbone diagram was used to identify potential problems at early stages, and a SWOT analysis was conducted to determine the system’s strengths and weaknesses. In addition, flowcharts and an Entity-Relationship Diagram (ERD) were prepared to explain the

relationships between system components and data structures. Mentorum offers users a secure and interactive learning experience through features such as live lesson reservations, instant messaging, a badge system, a boost (highlight) module, and two-factor authentication (2FA). The admin panel enables centralized control of the system's general operations, user management, and support requests. Moreover, the scalable architecture of the platform provides a solid foundation for future enhancements, including AI-powered recommendation systems and learning analytics modules. In conclusion, Mentorum has been designed as an online mentoring platform developed with modern web technologies, focusing on interactivity and learning motivation. In the future, the system is planned to be expanded with a mobile version and advanced statistical modules.

Keywords: Web-Based Education, Mentoring, Real-Time Communication, Educational Technologies

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

A BIBLIOMETRIC STUDY OF TRANSFORMERS AND LARGE LANGUAGE MODELS IN SENTIMENT ANALYSIS

Arş. Gör. Hasan DEMİR[1]

Department of Computer Engineering / Faculty of Computing and Informatics Science, Karabuk University, Türkiye,

hasandemir@karabuk.edu.tr - orcid.org/0009-0002-0167-5870

Doç. Dr. Kürşat Mustafa KARAOĞLAN[2]

Department of Computer Engineering / Faculty of Computing and Informatics Science, Karabuk University, Türkiye,

kkaraoglan@karabuk.edu.tr - orcid.org/0000-0001-9830-7622

Prof. Dr. İlker TÜRKER[3]

Department of Computer Engineering / Faculty of Computing and Informatics Science, Karabuk University, Türkiye,

iturker@karabuk.edu.tr - orcid.org/0000-0001-7577-4658

ABSTRACT

Sentiment analysis (SA), a fundamental research topic in Natural Language Processing, enables the identification of opinions, ideas, and emotional expressions in texts. While traditional methods fall short at capturing irony, polysemy, and long-term dependencies, Transformer architectures and Large Language Models have overcome these limitations and made significant progress in SA. The rapid proliferation of Transformer/LLM technologies in SA and the significant increase in academic publications since 2022 highlight the need for systematically examining these developments. This study analyses 10,048 publications from the Web of Science database between 2020 and 2025 to systematically examine the use of Transformer-based architectures in SA using bibliometric methods. These analysed publications were classified into two categories: Transformer/LLM-based approaches and non-Transformer-based deep learning (DL) models, and evaluated in terms of publication numbers, document types, journals, research areas, country distribution, and citation statistics. The study's key finding is that 2024 marks a critical turning point, when Transformer/LLM publications surpass DL approaches for the first time. While Transformer/LLM publications have increased rapidly since 2020, DL publications have begun to decline after peaking in 2022. China is the leading country in publication volume, with IEEE Access being the preferred publication platform. This analysis provides researchers with a data-driven perspective on current trends in SA, leading publication platforms, and future research opportunities.

Keywords: Sentiment Analysis, Transformer, Large Language Model, Bibliometric Analysis

1. INTRODUCTION

Sentiment analysis (SA), a sub-branch of Natural Language Processing, involves detecting, interpreting, and evaluating subjective expressions in spoken or written texts [1]–[3]. In these processes, machine learning (ML) and deep learning (DL) techniques are used to determine the polarities of texts, and the emotional tendency in the text is revealed by analysing semantic loads at the word, phrase, and sentence levels [4]–[6]. SA is widely applied in fields such as social media research, customer feedback evaluation, brand management, and financial forecasting, contributing to decision-making processes [2]–[5], [7], [8].

Dictionary-based approaches and ML algorithms used in SA cannot adequately understand the complex structure of the language and the context [2], [3], [9]. Dictionary-based methods are particularly inadequate at detecting sarcasm and word meanings, whereas ML algorithms cannot capture word order and long-term dependencies in texts [2], [4], [8]. Transformer-based architectures [10], one of the DL methods developed to overcome these limitations, have achieved significant success in SA [4], [5], [11]. In addition, these architectures reduce training time thanks to their ability to successfully detect long-term dependencies and their parallel processing capacity [4], [5], [12].

Large Language Models (LLMs), built on the Transformer architecture, are artificial intelligence models pre-trained on large text datasets and containing billions of parameters [13]–[15]. These models, capable of understanding word relationships and context, can achieve high performance in SA without requiring large amounts of training data [2], [13]. LLMs also perform well on complex tasks such as direction-based SA and can effectively detect sentiment towards target features across changing contexts. This capability, provided by LLMs, strengthens decision-making mechanisms in these areas where traditional methods are limited [16], [17].

ChatGPT, developed by OpenAI, is an LLM built on the Transformer architecture and has billions of parameters [8], [18]. Thanks to its ability to understand contextual relationships, the ChatGPT model can produce successful results in the field of SA [2], [6], [13]. In a study conducted in the financial field, the ChatGPT model demonstrated superior performance compared to specialised models such as FinBERT [2]. Similarly, in a study conducted in Cantonese, ChatGPT achieved a higher success rate than other models [13]. These findings show that ChatGPT can be used as an effective SA tool in multilingual environments and different application domains [2], [8].

While comprehensive qualitative reviews of SA methods exist in the literature [5], [8], [15], these studies do not directly focus on a comparative bibliometric analysis of Transformer/LLM and DL approaches regarding publication trends, geographic distribution, journal preferences, and citation patterns. This situation in the existing literature is serious, considering the rapid development of LLMs and the transformation they have brought to the field since 2022.

This study aims to systematically examine the use of Transformers and LLMs in SA using bibliometric methods and to demonstrate their development in the academic literature based on quantitative data. Publications from the Web of Science (WoS) database for the period 2020-2025 were analysed with respect to publication numbers, document types, indexing categories,

journals, research areas, country distributions, and citation statistics. This analysis provides researchers with a data-driven perspective on current trends, leading publication platforms, and future research opportunities.

2. METHODOLOGY

In this section, bibliometric analysis is used to systematically assess research trends in the SA field using Transformers and LLMs. Bibliometric analysis is a numerical method used to explore and analyse large volumes of scientific data, revealing the performance, structure, and development trends of a research field in detail [19]. As shown in Figure 1, the methodology consists of three subsections: Data Collection, Data Preprocessing & Analysis, and Data Visualisation. In the Data Collection section, publications in the SA field were obtained from the WoS database. In the Data Preprocessing & Analysis section, raw text data were converted into a structured data frame and analysed. Finally, in the Data Visualisation section, the analysis results are presented graphically.

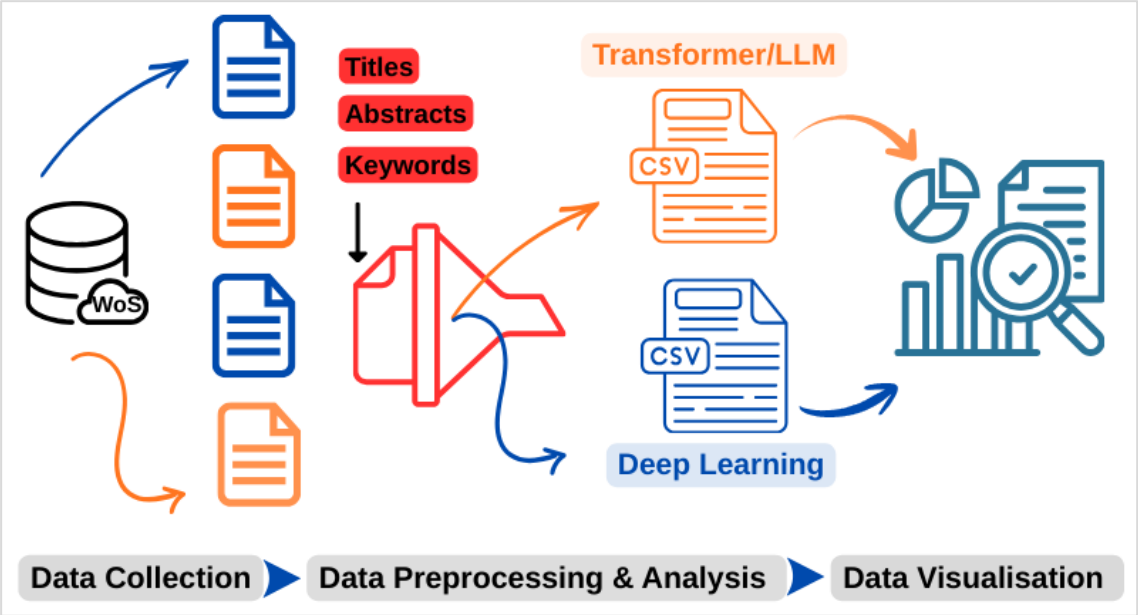


Figure 1. Overview of the research methodology framework.

2.1 Data Collection

The data used in this study were obtained from the WoS Core Collection database. WoS was chosen because it indexes high-quality, peer-reviewed scientific publications and provides reliable and comprehensive data for citation analysis and bibliometric studies [20]. The data collection process was conducted in two stages using the WoS platform's Query Builder tool, which allows for the creation of advanced search strategies.

In the first stage, the query in Table 1 was used to retrieve all studies in the field of SA conducted between 2020 and 2025. The "TS" (Topic Search) tag in this query indicates a search in WoS based on title, abstract, and keywords. The "OR" operator ensures that publications include at least one of the specified terms. This way, studies containing any of the terms "sentiment analysis," "opinion mining," or "sentiment classification" were included. The "PY" (Publication Year) tag was used to filter by publication year, limiting the search to studies

published between 2020 and 2025. The search using the query resulted in a dataset containing 19,074 publications. In the second stage, filtering was performed based on title, abstract, and keywords to identify Transformer/LLM-based studies from the resulting dataset. This filtering process is explained in detail in Section 2.2.

Table 1. Query used in WoS database.

Query	TS=("sentiment analysis" or "opinion mining" or "sentiment classification") AND PY=(2020-2025)

2.2 Data Preprocessing & Analysis

In this phase, the raw data from the WoS platform was systematically processed into a structured, queryable format. During data preprocessing, detailed analysis was conducted of article titles, abstracts, and keywords. In the analysis phase, studies were divided into two main categories based on the established criteria. The first category included DL methods using Transformer architectures and LLM, while the second category included DL approaches that were not Transformer/LLM-based. If a publication used Transformer/LLM-based models, it was included in the "Transformer/LLM" category. This approach provides a binary classification based on whether a Transformer model was present. Therefore, the "DL" category includes only studies that do not use Transformer/LLM components. This methodology prevents overlap between the two categories and ensures that each publication is assigned to a single category.

Table 2 provides detailed information about the analysed data. The "Transformer/LLM" category in the table includes DL studies using Transformer architectures and LLM. The "DL" category includes other DL methods that are not Transformer/LLM-based. Of the 10,048 publications, 4,031 are in the Transformer/LLM category, and 6,017 are in the DL category.

Table 2. Number of Documents by Publication Types

Category	Article	Proceedings Paper	Review	Early Access
Transformer/LLM	2573	1217	105	136
DL	4018	1603	264	132

2.3 Data Visualisation

To present the analysed data clearly and interpretably, various visualisation techniques were applied to the key indicators within the scope of the study. This process visualised comparative analyses between Transformer/LLM and DL models, including changes in publication trends using time-series analyses, scientific impact assessments using normalised citation counts, and categorical comparisons using percentage distributions.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents detailed analyses of bibliometric data from the WoS database. The analysis is conducted in seven subsections: Publication Count, Document Types, Journals,

WoS Index, Research Areas, Countries, and Citation Count. Each section presents a comparative perspective by evaluating the Transformer/LLM and DL models separately.

3.1 Publication Count

Figure 2 shows the change in the number of publications for Transformer/LLM and DL models in the SA field over the years. The figure shows the number of publications for both model types from 2020 to 2025. For Transformer/LLM, there were approximately 160 publications in 2020. This number increased to 335 in 2021, 467 in 2022, 703 in 2023, and 1053 in 2024. In 2025, the number of publications exceeded 1250. For DL models, there were approximately 950 publications in 2020. This number increased to 1027 in 2021 and over 1100 in 2022. However, the number of publications decreased to 1040 in 2023, to 1000 in 2024, and to around 840 in 2025.

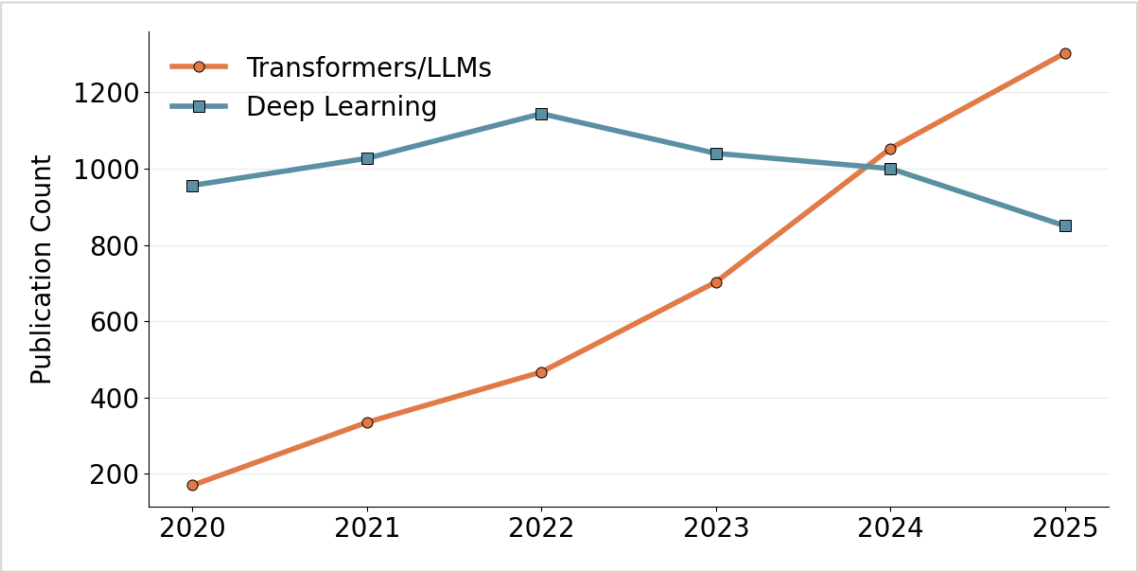


Figure 2. Annual publication numbers.

The data in Figure 2 demonstrates a significant transformation in the field of DL. The continued growth of Transformer/LLM models demonstrates increasing interest in them within the research community. Conversely, the decline in publications on DL models that do not incorporate a Transformer approach since 2023 suggests that researchers are shifting toward Transformer-based architectures.

3.2. Document Types

Academic studies in the WoS database include various document types, including articles, conference proceedings, and reviews. An examination of the distribution in Figure 3 reveals that articles and conference proceedings constitute the largest concentration in both models. A comparative analysis reveals that the proportion of articles and reviews in Transformer/LLM studies is higher than in DL models, while early access publications are at similar levels in both categories.

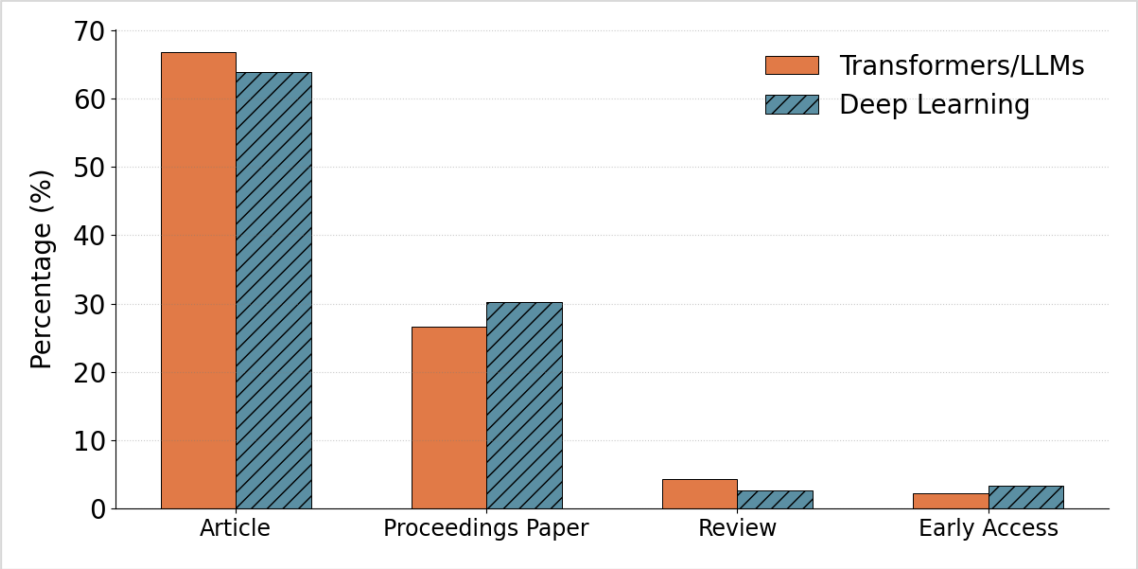


Figure 3. Publication distribution based on document type.

3.3. Journals

The journals with the most publications in SA reveal the publication platforms preferred by the research community and the field's direction of development. Figure 4 presents the percentage distribution of the top 20 journals with the most publications for Transformer/LLM and DL models. IEEE Access has the highest publication rate in both categories. This result demonstrates that IEEE Access, thanks to its open access model and broad coverage, is a preferred platform for SA research. Applied Sciences-Basel ranks second in both categories. Electronics has a higher publication rate in the DL category and a lower rate in the Transformer/LLM category. Journals such as Expert Systems with Applications, Scientific Reports, and Knowledge-Based Systems have significant publication rates in both categories. The International Journal of Advanced Computer Science and Applications and Multimedia Tools and Applications have higher publication rates for Transformer/LLM models, indicating that different journals focus more on certain model types. While the PeerJ Computer Science and Neurocomputing journals exhibit a balanced distribution across both categories, specialised journals such as the Journal of Medical Internet Research and Social Network Analysis and Mining are more prominently included in the DL category.

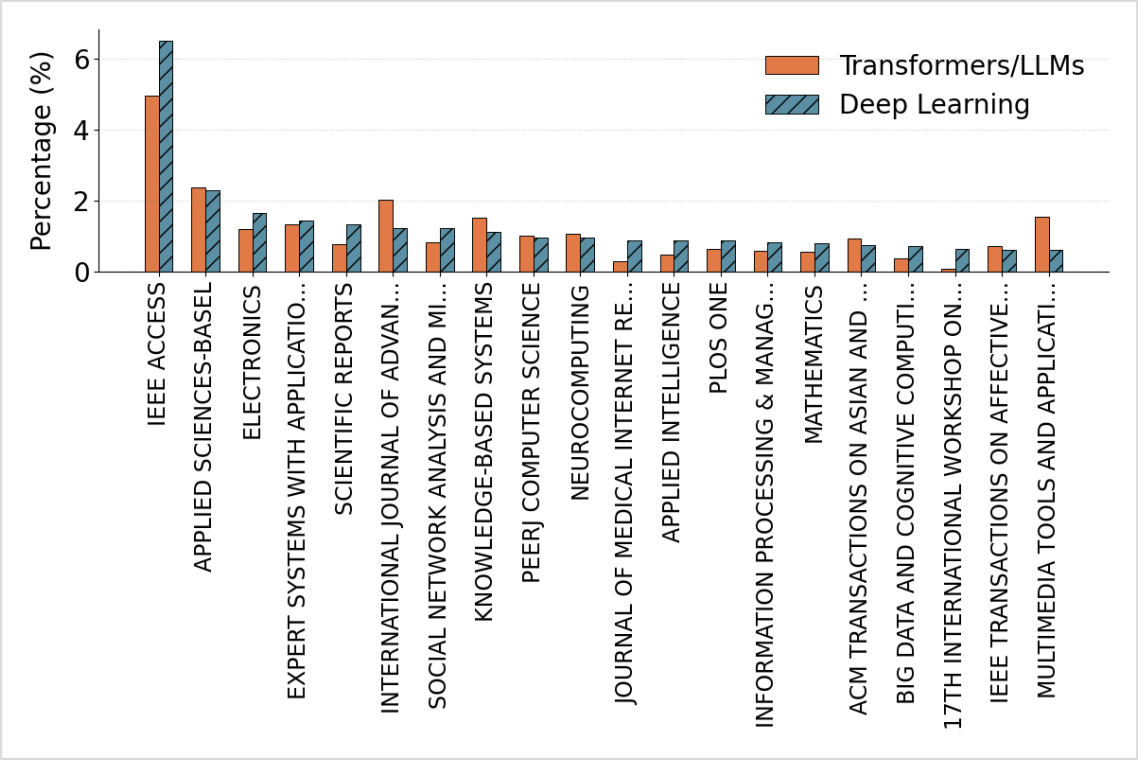


Figure 4. Distribution of journals with the most publications.

3.4. WoS Index

The WoS database classifies academic publications into different index categories. Authors consider the indexing type in terms of scientific reputation and academic career prospects. Figure 5 presents the percentage distribution of Transformer/LLM and DL models in the SA field according to WoS index categories.

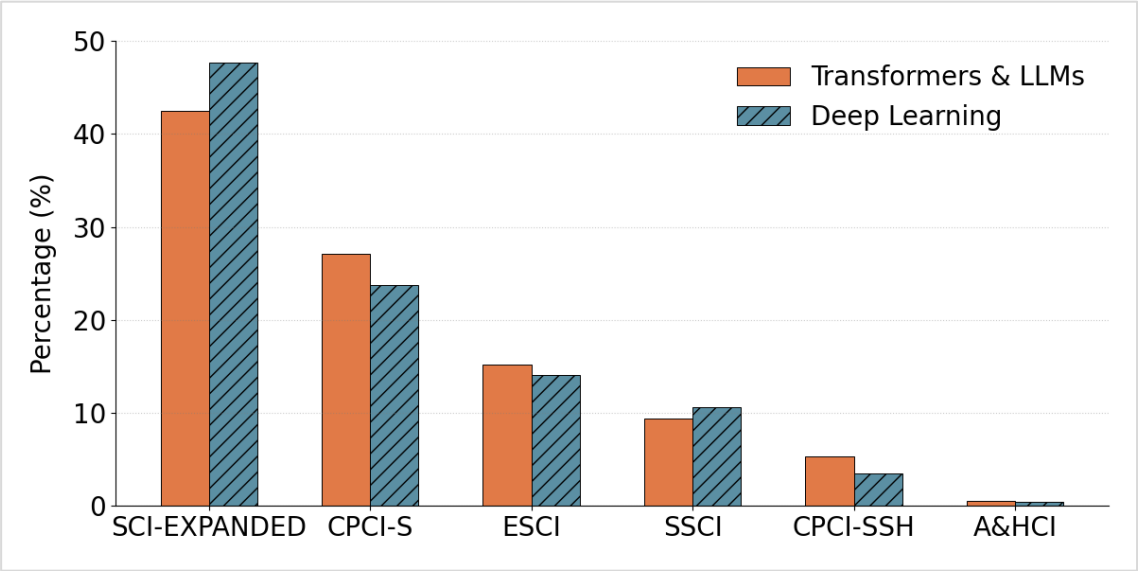


Figure 5. Distribution of publications according to WoS index categories.

Studies from both categories are most frequently included in the Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED). DL models have a higher percentage in this category than Transformer/LLM. The Conference Proceedings Citation Index - Science (CPCI-S) comes

second, with Transformer/LLM studies more prominently present in this category. This finding suggests that researchers prefer to share their findings quickly through conferences. Furthermore, the high rate of conference presentations indicates that the Transformer/LLM field is rapidly developing and still immature. While both model types have similar rates in the Emerging Sources Citation Index (ESCI) category, lower rates are observed in the Social Science Citation Index (SSCI), Conference Proceedings Citation Index - Social Science & Humanities (CPCI-SSH) and Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) categories.

3.5. Research Areas

The WoS database categorises academic publications across different research fields. Figure 6 presents the percentage distribution of Transformer/LLM and DL models in the SA field by research field.

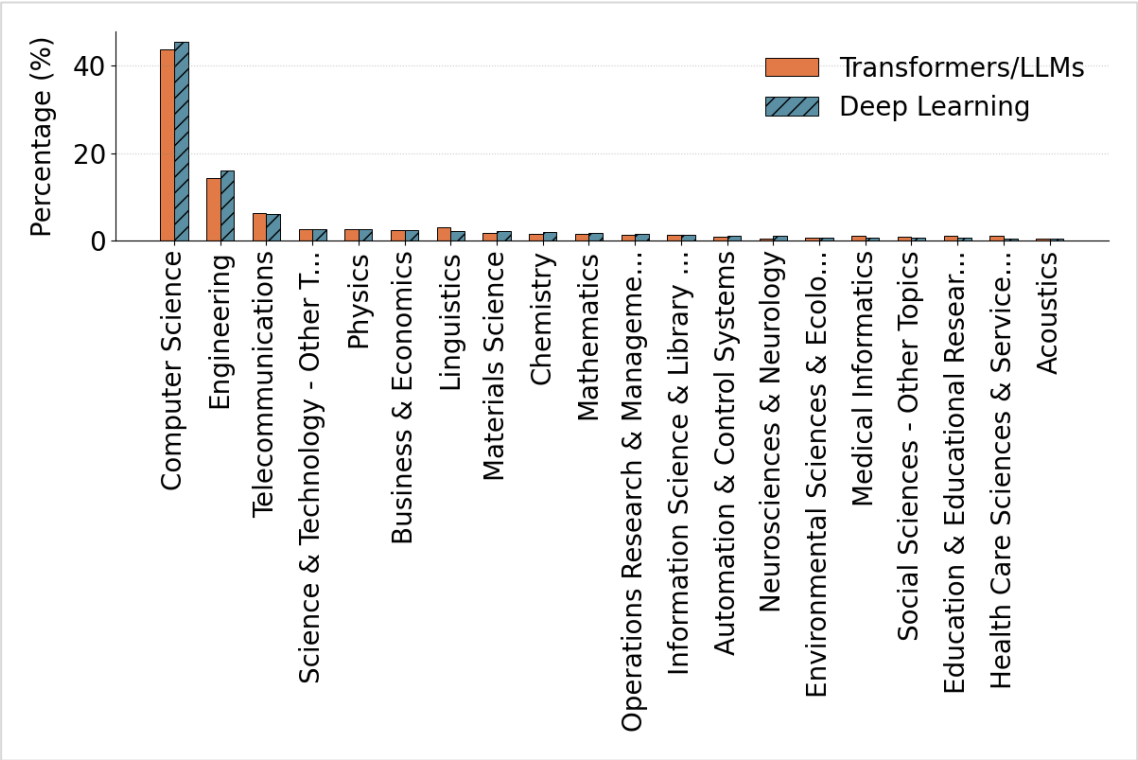


Figure 6. Distribution of publications by research areas.

Figure 6 shows that Computer Science has the highest percentage in both categories, indicating that SA is primarily concentrated in computer science. Engineering ranks second in both categories, while Telecommunications has similar percentages. Linguistics has a higher proportion of Transformer/LLM studies than of DL models, reflecting the growing use of language models in natural language processing. Fields such as Physics, Business & Economics, Mathematics, and Chemistry have similar percentages in both categories. The higher number of Transformer/LLM studies in Medical Informatics and Health Care Sciences & Services indicates that these models are preferred in healthcare applications. Generally, SA research is interdisciplinary and applies across various scientific fields.

3.6 Countries

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

A country-based analysis reveals the geographic distribution of research activities and trends in international collaboration in the SA field. Figure 7 presents the percentage distribution of the 20 countries that published the most Transformer/LLM and DL papers. An examination of Figure 7 reveals that China ranks first in both categories. India ranks second in the DL model category and third in the Transformer/LLM category. The USA ranks second in the Transformer/LLM category and third in DL models. This ranking difference indicates that the USA focuses more on Transformer-based technologies. Saudi Arabia, Pakistan, South Korea, Australia, Malaysia, Spain, and Turkiye rank first in both categories. Italy, Singapore, Egypt, Germany, Iran, Japan, Indonesia, and Bangladesh also have significant publication rates. In general, SA research is global, with researchers from different continents contributing to the field.

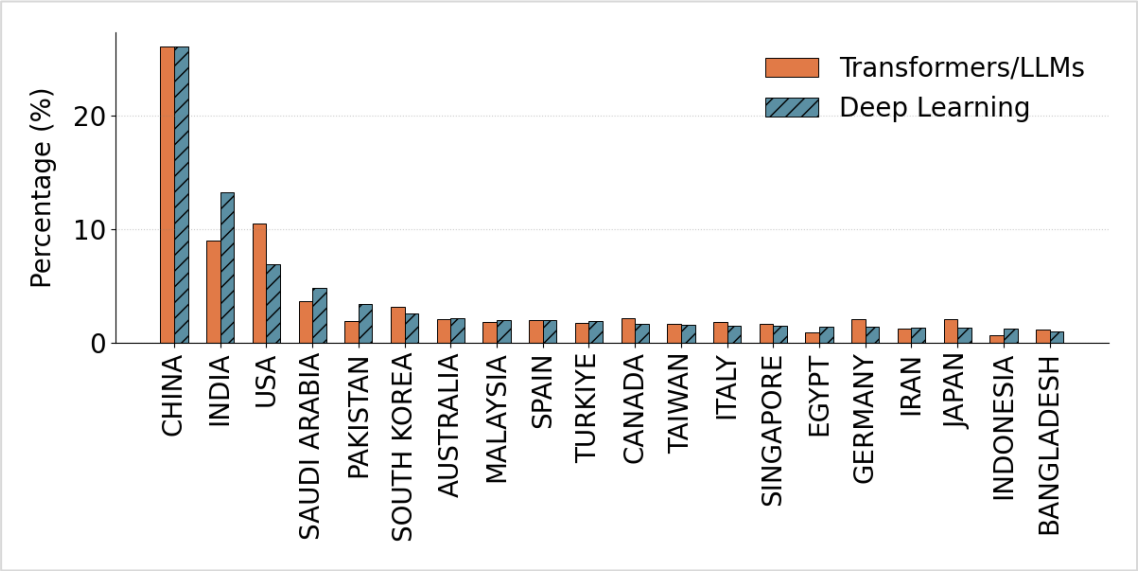


Figure 7. Comparison of publication rates by country.

Figure 8 visualises the geographic distribution of Transformer/LLM studies worldwide. Darker blue colours on the map represent higher publication density, with China, the USA, and India being particularly notable for their high publication activity.

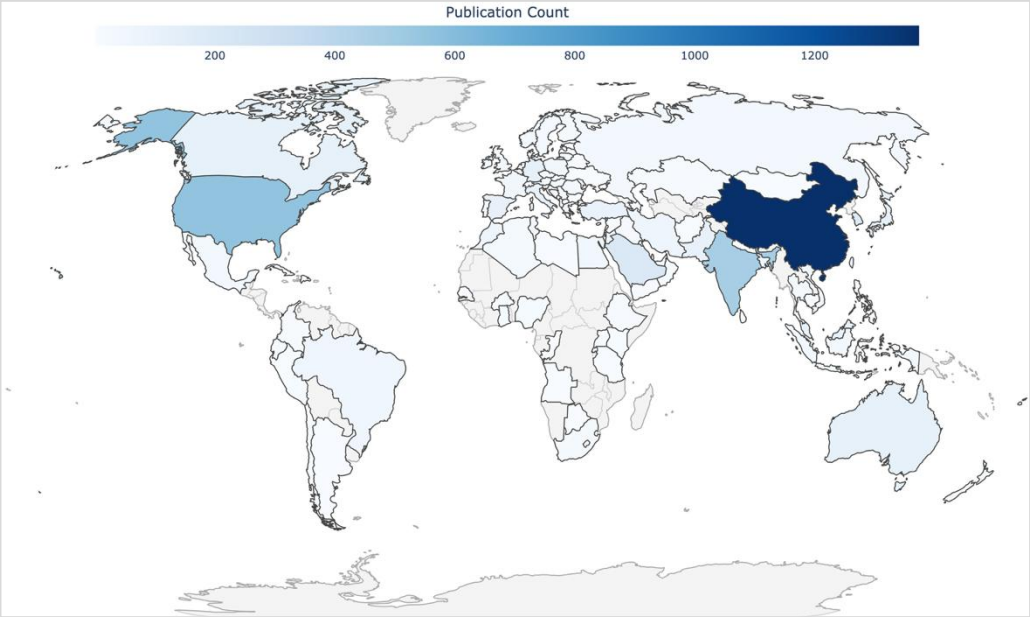


Figure 8. Visualization of Transformer/LLM publications by world country.

3.7 Citation Count

Citation analysis is a key bibliometric indicator that measures the impact of scientific studies and the extent to which the academic community cites them. Figure 9 presents the normalised average citation counts for Transformer/LLM and DL categories by year. The normalised citation count was calculated by dividing each publication's total citation count by the time from the publication year to 2025. This method allows for fair comparisons of studies published in different years.

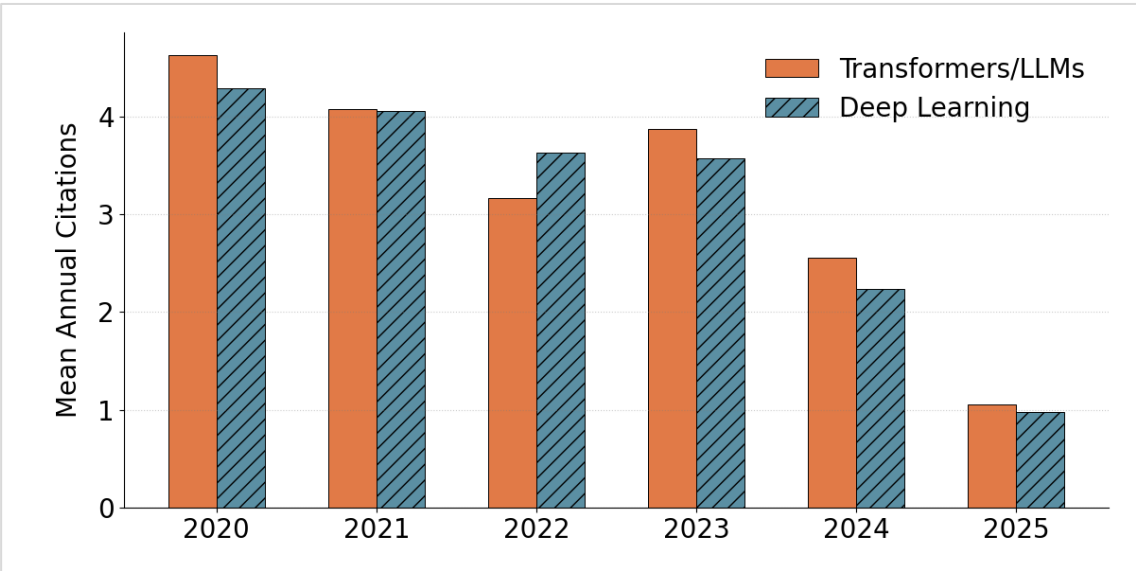


Figure 9. Average citation counts normalized by year.

An examination of Figure 9 shows that normalised citation counts were at their highest in both categories in 2020. This finding demonstrates that early-stage studies have become fundamental reference sources in the field and have guided subsequent research. Citation counts remained at similar levels in both categories in 2021. A decline was observed in DL models and the

Transformer/LLM category in 2022. While an increase was observed in the Transformer/LLM category in 2023, the decline continued in DL models. Normalised citation counts decreased in both categories in 2024 and 2025, indicating that new publications have not yet accumulated sufficient citations. The fact that Transformer/LLM studies have had citation levels similar to or higher than those of DL models in recent years demonstrates the increasing scientific impact of these technologies.

The normalised citation method has several limitations. First, because the 2025 data is not yet complete, findings from this year should be interpreted with caution. Second, the lack of time for new publications to be cited has systematically led to low normalised citation values for recent years. This limitation reflects not the quality or impact of the new studies, but rather their time constraints.

4. CONCLUSION AND FUTURE WORK

This study examined the evolution of Transformer/LLM and DL models in the SA field between 2020 and 2025 using bibliometric analysis on 10,048 publications obtained from the WoS database. The study's key finding is that 2024 represents a critical turning point in SA, marking the rise of Transformer/LLM technologies. The continuous increase in the number of publications, high rankings in prestigious indices, and increasing citation levels confirm this transformation.

Bibliometric analysis revealed that SA research has a global character and is expanding across disciplines. China, India, and the USA stand out as the most productive countries, with IEEE Access being the most preferred publication platform. The increasing use of Transformers/LLMs in Computer Science, Linguistics, Medical Informatics, and Health Care Sciences demonstrates the expanding application potential of these technologies. The high prevalence of conference proceedings in Transformer/LLM studies reflects the field's rapidly evolving, dynamic nature. The study's theoretical contribution is to document, using quantitative data, the methodological transformation in the SA field. Practically, it provides researchers with a data-driven guide to publication strategies, target journals, and international collaboration opportunities.

The study has several limitations. First, the analysis is limited to the WoS database, excluding other databases such as Scopus and IEEE Xplore. Second, the study focuses on bibliometric analysis and does not compare the technical performance of the models. Third, because the data for 2025 is not yet complete, the findings for this period should be interpreted with caution. Finally, because new publications have not yet had sufficient time to be cited, the normalised citation values for 2024 and 2025 are low.

Several suggestions for future research are offered. First, a more comprehensive analysis can be conducted by incorporating data from other databases such as Scopus, IEEE Xplore, and Google Scholar. Second, bibliometric and experimental methods can be combined to focus on specific subfields, such as multilingual SA, facet-based SA, and sarcasm detection. Third, collaboration network analyses can be conducted at the author and institution levels. Finally, comprehensive studies can be conducted on the use of generative models such as ChatGPT, Gemini, and Claude in the SA field.

REFERENCES

[1] M. S. U. Miah, M. M. Kabir, T. B. Sarwar, M. Safran, S. Alfarhood, and M. F. Mridha, 'A multimodal approach to cross-lingual sentiment analysis with ensemble of transformer and LLM', *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, p. 9603, Apr. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-60210-7.

[2] G. Fatouros, J. Soldatos, K. Kouroumali, G. Makridis, and D. Kyriazis, 'Transforming sentiment analysis in the financial domain with ChatGPT', *Mach. Learn. Appl.*, vol. 14, p. 100508, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.mlwa.2023.100508.

[3] N. A. Sharma, A. B. M. S. Ali, and M. A. Kabir, 'A review of sentiment analysis: tasks, applications, and deep learning techniques', *Int. J. Data Sci. Anal.*, vol. 19, no. 3, pp. 351–388, Apr. 2025, doi: 10.1007/s41060-024-00594-x.

[4] E. B. Ramezani, 'Sentiment analysis applications using deep learning advancements in social networks: A systematic review', *Neurocomputing*, vol. 634, p. 129862, June 2025, doi: 10.1016/j.neucom.2025.129862.

[5] A. Albladi, M. Islam, and C. Seals, 'Sentiment Analysis of Twitter Data Using NLP Models: A Comprehensive Review', *IEEE Access*, vol. 13, pp. 30444–30468, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3541494.

[6] M. Água, N. António, P. Carrasco, and C. Rassal, 'Large Language Models Powered Aspect-Based Sentiment Analysis for Enhanced Customer Insights', *Tour. Manag. Stud.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–19, Jan. 2025, doi: 10.18089/tms.20250101.

[7] W. Zhang, X. Li, Y. Deng, L. Bing, and W. Lam, 'A Survey on Aspect-Based Sentiment Analysis: Tasks, Methods, and Challenges', *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 35, no. 11, pp. 11019–11038, Nov. 2023, doi: 10.1109/TKDE.2022.3230975.

[8] Y. Mao, Q. Liu, and Y. Zhang, 'Sentiment analysis methods, applications, and challenges: A systematic literature review', *J. King Saud Univ. - Comput. Inf. Sci.*, vol. 36, no. 4, p. 102048, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jksuci.2024.102048.

[9] Z. Ke, Z. Zhang, L. Zhou, M. Wu, and T. Zhang, 'Qwen-Fin: Chinese Financial Sentiment Analysis Based on Fine-Tuned Large Language Model', in *2024 IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT)*, Bangkok, Thailand: IEEE, Dec. 2024, pp. 812–817. doi: 10.1109/WI-IAT62293.2024.00132.

[10] A. Vaswani *et al.*, 'Attention is All you Need', in *Advances in Neural Information Processing Systems*, I. Guyon, U. V. Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan, and R. Garnett, Eds, Curran Associates, Inc., 2017. [Online]. Available: https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf

[11] N. Darraz, I. Karabila, A. El-Ansari, N. Alami, and M. El Mallahi, 'Integrated sentiment analysis with BERT for enhanced hybrid recommendation systems', *Expert Syst. Appl.*, vol. 261, p. 125533, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.eswa.2024.125533.

[12] H. Zou and Y. Wang, 'Large language model augmented syntax-aware domain adaptation method for aspect-based sentiment analysis', *Neurocomputing*, vol. 625, p. 129472, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.neucom.2025.129472.

[13] Z. Fu, Y. C. Hsu, C. S. Chan, C. M. Lau, J. Liu, and P. S. F. Yip, 'Efficacy of ChatGPT in Cantonese Sentiment Analysis: Comparative Study', *J. Med. Internet Res.*, vol. 26, p. e51069, Jan. 2024, doi: 10.2196/51069.

[14] B. M. Ampel, C.-H. Yang, J. Hu, and H. Chen, 'Large Language Models for Conducting Advanced Text Analytics Information Systems Research', 2023, *arXiv*. doi: 10.48550/ARXIV.2312.17278.

[15] J. R. Jim, M. A. R. Talukder, P. Malakar, M. M. Kabir, K. Nur, and M. F. Mridha, 'Recent advancements and challenges of NLP-based sentiment analysis: A state-of-the-art review', *Nat. Lang. Process. J.*, vol. 6, p. 100059, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.nlp.2024.100059.

[16] C. Wu, B. Ma, Z. Zhang, N. Deng, Y. He, and Y. Xue, 'Evaluating zero-shot multilingual aspect-based sentiment analysis with large language models', *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, vol. 16, no. 10, pp. 8079–8101, Oct. 2025, doi: 10.1007/s13042-025-02711-z.

[17] N. Mughal, G. Mujtaba, S. Shaikh, A. Kumar, and S. M. Daudpota, 'Comparative Analysis of Deep Natural Networks and Large Language Models for Aspect-Based Sentiment Analysis', *IEEE Access*, vol. 12, pp. 60943–60959, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3386969.

[18] H. H. Thorp, 'ChatGPT is fun, but not an author', *Science*, vol. 379, no. 6630, pp. 313–313, Jan. 2023, doi: 10.1126/science.adg7879.

[19] N. Donthu, S. Kumar, D. Mukherjee, N. Pandey, and W. M. Lim, 'How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines', *J. Bus. Res.*, vol. 133, pp. 285–296, Sept. 2021, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.04.070.

[20] C. Birkle, D. A. Pendlebury, J. Schnell, and J. Adams, 'Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity', *Quant. Sci. Stud.*, vol. 1, no. 1, pp. 363–376, Feb. 2020, doi: 10.1162/qss_a_00018.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ÖĞRENCİ STRES DÜZEYLERİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELLERİ İLE TAHMİN EDİLMESİ VE AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİ İLE YORUMLANMASI

Dr. Öğr. Üyesi Murat URFALIOĞLU

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi,

murat.urfalioglu@ibu.edu.tr - 0000-0002-2893-8135

ÖZET

Bu çalışma, üniversite öğrencilerinin stres düzeylerini (Düşük, Orta, Yüksek) tahmin etmede makine öğrenmesi (ML) algoritmalarının performansını karşılaştırmayı ve en yüksek performansı sergileyen modelin karar mekanizmalarını Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemleriyle yorumlamayı amaçlamıştır. Çalışmada 1.100 öğrenciden elde edilen ve psikososyal, akademik ve fizyolojik değişkenleri içeren bir veri seti kullanılmıştır. Beş farklı sınıflandırma algoritması (Naive Bayes, Simple Logistic, Instance-Based k, J48 ve Random Forest) 10 katmanlı çapraz doğrulama (10-fold cross-validation) ile değerlendirilmiştir. Lojistik regresyon temelli Simple Logistic algoritması en yüksek Doğruluk (%88.73) ve F1-skoru (0.887) ile en başarılı sınıflandırıcı olarak belirlenmiştir. En iyi performansı gösteren Simple Logistic modelinin karar süreçleri, ELI5 (Explain Like I'm 5) Permutation Importance ve SHAP (SHapley Additive exPlanations) analizleri ile detaylıca incelenmiştir. Her iki Açıklanabilir Yapay Zekâ (Explainable Artificial Intelligence, XAI) yöntemi de, kan basıncı özniteliğinin en önemli ve belirleyici faktör olduğunu ortaya koymuştur. İkinci en önemli faktör olarak sosyal destek belirlenmiştir. SHAP analizleri, ek olarak özsaygı, akademik performans ve çalışma yükü gibi psikososyal ve akademik faktörlerin de model tahminlerine anlamlı katkılar sunduğunu göstermiştir. Bu bulgular, öğrenci stres düzeyinin tahmininde yalnızca fizyolojik göstergelerin değil, aynı zamanda sosyal destek ve akademik bağlamın bütüncül olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu çalışma, ML performansını XAI yöntemleriyle birleştirerek bu alanda yapılan araştırmalara metodolojik katkı sağlamakta ve eğitim kurumlarının stres riskini erken tespit etme ve müdahale mekanizmalarını tasarlama süreçlerine rehberlik edecek şeffaf ve yorumlanabilir içgörüler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açıklanabilir yapay zekâ, ELI5, makine öğrenmesi, öğrenci stresi, SHAP.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PREDICTING STUDENT STRESS LEVELS USING MACHINE LEARNING MODELS AND INTERPRETING THEM WITH EXPLAINABLE ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS

ABSTRACT

This study aimed to compare the performance of machine learning (ML) algorithms in predicting university students' stress levels (Low, Medium, High) and to interpret the decision-making mechanisms of the best-performing model using Explainable Artificial Intelligence (XAI) methods. The study utilized a dataset obtained from 1,100 students, including psychosocial, academic, and physiological variables. Five different classification algorithms (Naive Bayes, Simple Logistic, Instance-Based k, J48, and Random Forest) were evaluated using 10-fold cross-validation. The logistic regression–based Simple Logistic algorithm was identified as the most successful classifier, achieving the highest Accuracy (88.73%) and F1-score (0.887).

The decision processes of the best-performing Simple Logistic model were examined in detail using ELI5 (Explain Like I'm 5) Permutation Importance and SHAP (SHapley Additive exPlanations) analyses. Both XAI methods revealed that blood pressure was the most important and decisive feature. Social support was identified as the second most important factor. In addition, SHAP analyses showed that psychosocial and academic factors such as self-esteem, academic performance, and study load also made significant contributions to the model's predictions. These findings indicate that predicting student stress levels requires a holistic consideration of not only physiological indicators but also social support and the academic context. This study provides a methodological contribution to the literature by integrating ML performance with XAI methods and offers transparent and interpretable insights that can guide educational institutions in designing early stress risk detection and intervention mechanisms.

Keywords: Explainable artificial intelligence, ELI5, machine learning, student stress, SHAP.

1. GİRİŞ

Geleneksel istatistiksel yöntemler, öğrencilerin stres düzeylerini etkileyen değişkenleri belirlemede değerli bilgiler sunsa da karmaşık ilişkileri yakalamada sınırlı kalabilmektedir. Son yıllarda makine öğrenmesi (ML) yaklaşımları, daha yüksek doğrulukla tahminler üretebilmesi ve geniş ölçekli verilerde gizli örüntüleri ortaya çıkarabilmesi sayesinde stres gib psikososyal alanlarda giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte, yüksek performanslı ML modellerinin önemli bir kısmı "kara kutu" yapısında olduğundan, modelin karar süreçlerinin tam olarak nasıl şekillendiği çoğu zaman anlaşılamamaktadır. Bu durum, özellikle eğitim ve sağlık gibi açıklanabilirliğin kritik olduğu alanlarda önemli bir eksiklik yaratmaktadır.

Bu bağlamda, açıklanabilir yapay zekâ (Explainable Artificial Intelligence — XAI) yöntemleri, makine öğrenmesi modellerinin hangi özniteliklere ne ölçüde dayandığını görünür kılarak hem model şeffaflığını hem de karar güvenilirliğini artırmaktadır. Özellikle ELI5 Permutation Importance ve SHAP analizleri, modelin nasıl karar verdiğine ilişkin ayrıntılı içgörüler sunmaktadır.

Mevcut literatür incelendiğinde, öğrenci stres düzeylerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle tahmin edilmesine yönelik çalışmaların giderek arttığı görülmektedir. Ancak bu çalışmaların büyük bir bölümü yalnızca sınıflandırma performansını raporlamakta, modellerin karar mekanizmalarını açıklayan açıklanabilir yapay zekâ tekniklerini sınırlı kullanmaktadır. Bu çalışmada kullanılan veri setiyle çalışan araştırmaların çoğunda Random Forest (RF), Naive Bayes (NB), Logistic Regression (LR), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT) ve k-Nearest Neighbors (KNN) gibi makine öğrenmesi algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda ise Multi-Layer Perceptron (MLP) ve Artificial Neural Network (ANN) gibi derin öğrenme yöntemlerinin tercih edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmaların neredeyse tamamında doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 skoru gibi performans metrikleri kullanılmıştır. Modelin hangi değişkenlere dayanarak karar verdiğini açıklamaya yönelik ELI5, SHAP, LIME veya benzeri XAI yöntemlerini uygulayan araştırmalar kısıtlı olduğu görülmektedir. Literatürde SHAP kullanımına rastlanan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar da yalnızca SHAP değerleri üzerinden açıklanabilirlik sunmakta ve ELI5 gibi model-bağımsız permütasyon temelli açıklayıcı teknikler rastlanmamıştır. Bu durum, alanyazında önemli bir boşluğa işaret etmektedir.

Mevcut araştırma WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) platformu üzerinde farklı makine öğrenmesi algoritmalarının performansını karşılaştırması ve en iyi performans gösteren modeli iki farklı açıklanabilir yapay zekâ yöntemi (SHAP ve ELI5) ile birlikte yorumlaması bakımından literatüre katkı sağlayacaktır. Özellikle stres düzeyinin belirlenmesinde en etkili psikososyal, akademik ve fizyolojik faktörlerin SHAP katkı değerleri ve ELI5 permütasyon önem sıralamalarıyla ortaya konulması, önceki çalışmalara ve literatüre hem metodolojik hem de uygulamalı açıdan özgün bir katkı sunmaktadır.

Bu araştırmanın amacı, öğrencilerin stres düzeylerini etkileyen faktörleri makine öğrenmesi yaklaşımıyla incelemek, stres düzeylerini sınıflandırmada kullanılan farklı algoritmaların

performansını karşılaştırmak ve en etkili modelin karar verme süreçlerini açıklanabilir yapay zekâ yöntemleriyle yorumlamaktır. Çalışma, öğrenci stresinin çok boyutlu yapısını veri odaklı bir çerçevede ele alarak hem tahmin doğruluğunu hem de model şeffaflığını sağlamayı hedeflemektedir. Bu kapsamda alt amaçlar şu şekilde belirlenmiştir:

1. Öğrenci stres düzeylerini sınıflandırmak için Naive Bayes, Simple Logistic, IBk, J48 ve Random Forest algoritmalarının performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak.
2. En başarılı sınıflandırma modelin karar mekanizmasını açıklanabilir yapay zekâ yöntemleri (ELI5 ve SHAP) aracılığıyla analiz etmek.

Aynı veri seti kullanılarak daha önce çeşitli makine öğrenmesi çalışmaları yapılmış olsa da bu çalışmaların çoğu yalnızca sınıflandırma performansının artırılmasına odaklanmakta ve modellerin karar mekanizmalarını açıklayan XAI tekniklerine sınırlı düzeyde yer vermektedir. Bu durum, stres düzeyini belirleyen temel değişkenlerin rolünün bütüncül ve yorumlanabilir biçimde ortaya konmasını güçleştirmektedir. Dolayısıyla hem farklı ML algoritmalarını karşılaştıran hem de en başarılı modelin kararlarını birden fazla XAI yöntemi (ELI5 ve SHAP) ile açıklayan bütünleşik bir çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışma kapsamında aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmıştır:

1. Makine öğrenmesi algoritmaları (Naive Bayes, Simple Logistic, IBk, J48 ve Random Forest) öğrenci stres düzeylerini sınıflandırmada nasıl bir performans göstermektedir?
2. ELI5 yöntemi, modelin genel (global) karar yapısını hangi özelliklerin baskın olduğunu göstererek nasıl açıklamaktadır?
3. SHAP analizi, bireysel tahminler ve genel açıklanabilirlik açısından modelin karar süreçlerine ne tür ek içgörüler sunmaktadır?

Bu yönleriyle çalışma, öğrenci stresinin belirleyicilerini hem makine öğrenmesi hem de açıklanabilir yapay zekâ perspektifinden ele alarak literatüre özgün bir katkı sağlamayı hedeflemektedir. Ayrıca elde edilen bulguların eğitim kurumlarında erken uyarı ve risk izleme süreçlerine rehberlik etmesi beklenmektedir.

2. LİTERATÜR/ GENEL BİLGİLER

Cüceloğlu'na göre stres, bireyin fiziksel ve sosyal çevresindeki uyumsuzluklar sebebiyle, kendi bedensel ve psikolojik kapasitesinin ötesinde çaba harcaması durumudur (Cüceloğlu, 1994). Bu çerçevede üniversite öğrencileri, akademik gereklilik ve beklentiler, yoğun çalışma yükü, sosyal ilişkilerde yaşanan güçlükler, ekonomik baskılar ve geleceğe yönelik belirsizlikler gibi çok boyutlu stres kaynaklarıyla karşı karşıya kalmaktadır. Öğrencilerin maruz kaldığı bu stres, yalnızca akademik performansı değil, aynı zamanda psikolojilerini, fiziksel sağlığı ve genel yaşam kalitesini olumsuz etkileyen kritik bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla, öğrencilerin stres düzeylerinin doğru biçimde tahmin edilmesi ve stresin hangi faktörlerden beslendiğinin anlaşılması, eğitim kurumlarının erken müdahale mekanizmaları geliştirebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Çağımızda Tahmin etme deyince akla öncelikle yapay zekanın alt dallarından olan makine öğrenmesi gelmektedir. Makine Öğrenmesi, bilgisayarların açık biçimde programlanmasına gerek kalmadan verilerden öğrenmesini mümkün kılan bir bilim ve mühendislik disiplinidir. Bu alan, bilgisayar bilimleri, istatistik ve yapay zekânın ortak kesişiminde yer alan alt alandır. Literatürde sıklıkla tahminsel analitik ya da istatistiksel öğrenme kavramlarıyla da ifade edilmektedir (Géron, 2017). Makine öğrenmesinin temel amacı, karmaşık olgulara ilişkin örneklerden oluşan eğitim verilerini kullanarak, girdi değişkenleri (öznitelikler) temelinde belirli bir çıktıyı tahmin edebilen matematiksel ya da istatistiksel bir model geliştirmektir. Aynı zamanda makine öğrenmesi, bir veri kümesinin toplanması ve bu veri kümesine dayanarak istatistiksel bir modelin algoritmik olarak oluşturulması yoluyla pratik bir problemin çözülmesi süreci olarak da tanımlanmaktadır (Burkov, 2019).

Makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla öğrencilerin stres düzeylerini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu araştırmada kullanılan açık erişimli veri seti, öğrencilerin stres düzeylerinin tahminine yönelik farklı çalışmalarda da kullanılmıştır. Mevcut çalışma kapsamında, söz konusu araştırmalar derlenerek Çizelge 1'de literatür bağlamında bütüncül bir değerlendirme sunulmuştur.

Çizelge 7. Öğrenci Stres Düzeyi Tahmini Üzerine Yapılan Çalışmaların Karşılaştırılması

Çalışma	Algoritmalar	En Yüksek Accuracy (%)	Yazılım / Platform	SHAP	ELI5	Temel Bulgular
Anugrahaini ve diğ. (2025)	ANN(Artificial Neural Network)	1.00	Orange Data Mining	Hayır	Hayır	Öznitelik seçimi rastlanmamıştır.
Yeler ve Sürücü (2025)	Logistic Regression(LR), Random Forest(RF), XGBoost(XGB)	88.1	Belirtilmemiş.	Hayır	Hayır	LR en iyi performansı göstermiş. Öznitelik analizi rastlanmamıştır.
Tariq ve diğ. (2025)	LR, SVM, DT, RF, Gradient Boosting(GB), and XGBoost(XGB)	91 .0	Python	Evet	Hayır	Random forest en iyi performans göstermiştir SHAP ile açıklanabilirlik sağlanmış. Blood pressure, perceived safety, sleep quality en etkili öznitelikler.
Arya diğ. (2024)	NB, RF, GB, AdaBoost, CatBoost, LGBM, XGB, ET, LR, DT, KNN, SVM, MLP, ANN	90.0	Python	Hayır	Hayır	Naive Bayes en iyi performans göstermiştir. Korelasyon sonucu self_esteem, bullying, sleep_quality,

						anxiety_level, future_career_concerns en etkili öznitelikler.
Deena diğ. (2024)	LR, RF, NB, SVM, DT, KNN	90.0	Belirtilmemiş.	Hayır	Hayır	Naive Bayes en iyi performans göstermiştir . Anxiety, self-esteem, depression, sleep_quality, bullying en etkili öznitelikler.
de Filippis ve Foysal (2024)	RF	88.0	Python	Hayır	Hayır	Self-esteem, sleep quality, bullying en etkili öznitelikler.
Yüksel (2023)	Decision Tree, RF, KNN, Gaussian Naive Bayes	90.3	Python	Hayır	Hayır	Gaussian Naive Bayes en iyi performans göstermiştir. Self-esteem, bullying, sleep_quality, basic_needs en etkili öznitelikler.

Çizelge 1'de, kullanılan veri seti ile öğrenci stres düzeylerinin makine öğrenmesi yöntemleriyle incelendiği mevcut çalışmaların kapsamı, yöntemsel tercihleri ve bulguları hakkında bütüncül bir görünüm sunulmuştur. Görüldüğü üzere, literatürde farklı algoritmalarla yüksek doğrulukta sınıflandırma yapan birçok araştırma bulunmasına rağmen, bu çalışmaların büyük çoğunluğu model performansına odaklanmaktadır. Modellerin hangi değişkenler üzerinden karar verdiğini açıklayan SHAP, ELI5 gibi açıklanabilir yapay zekâ yöntemlerine sınırlı ya da hiç yer vermemektedir.

Açıklanabilir Yapay Zekâ (Explainable Artificial Intelligence, XAI), bir yapay zekâ veya makine öğrenmesi modelinin kararlarını, iç işleyişini ve bu kararlara yol açan nedenleri insan tarafından anlaşılabilir, sezgisel ve yorumlanabilir biçimde açıklamayı amaçlayan yöntemler, teknikler ve algoritmalar bütünüdür. XAI, modelin kara kutu davranışını şeffaf hâle getirerek girdiler ile çıktılar arasındaki ilişkilerin anlaşılmasını sağlar ve böylece güven, şeffaflık, adalet ve hesap verebilirliği artırmayı hedefler (Das ve Rad, 2020). Bu bağlamda XAI, makine öğrenmesi gibi yapay zekâ sistemlerinin ürettiği kararların neden ve nasıl alındığını ortaya koymaya amaçlayan bir araştırma alanı diyebiliriz. Bu bağlamda SHAP, LIME ve ELI5 gibi yöntemler, karmaşık makine öğrenmesi modellerinin karar mekanizmalarının anlaşılmasını sağlayarak modelin hangi özniteliklere ve etkileşimlere dayalı olarak tahmin ürettiğinin açıklanmasına imkân tanımaktadır. (Yıldırım ve diğ., 2024).

3. YÖNTEM

3.1. Veri Seti

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

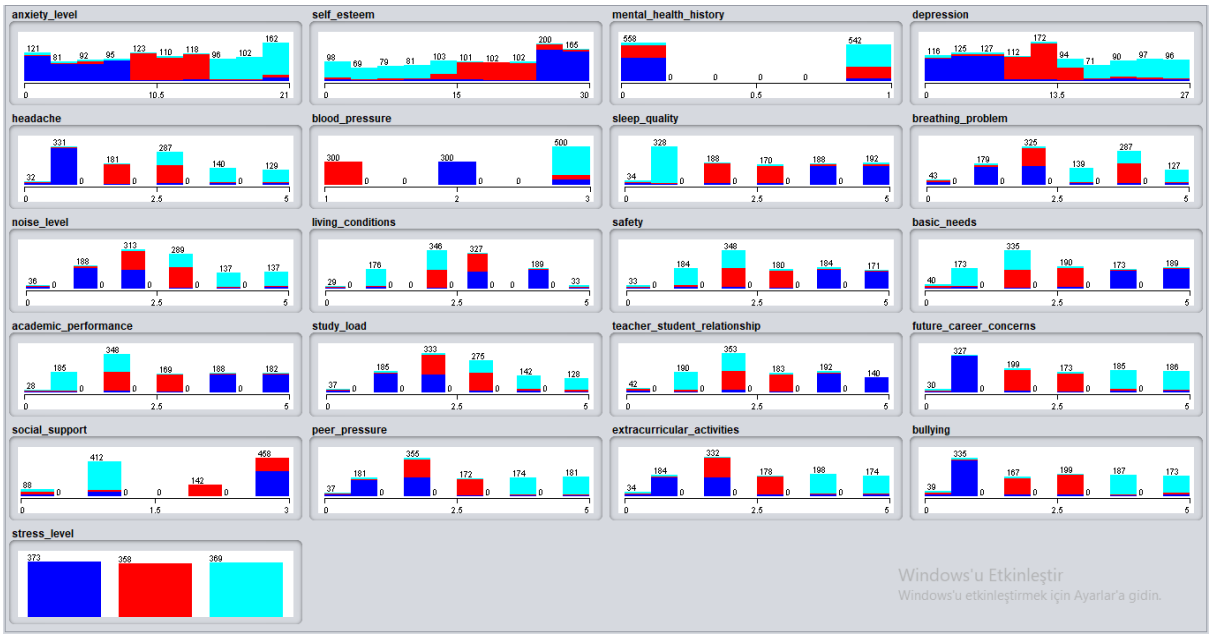
Bu araştırmada kullanılan veri seti, öğrencilerin stres düzeylerini belirlemeye yönelik psikolojik, akademik, fizyolojik ve sosyal değişkenleri içeren bir anket çalışmasından elde edilen veri seti kullanılmıştır (Kaggle, 2025). Veri setinde toplam gözlem sayısı 1.100 olup, 20 bağımsız değişken ve bir bağımlı değişken bulunmaktadır. Çalışmanın hedef değişkeni olan stress_level, öğrencilerin stres durumunu üç kategoride temsil etmekte olup Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 8. Öğrencilerin Stres Düzeylerine Göre Dağılımı

Stres Düzeyi	Frekans (n)	Yüzde (%)
Düşük	373	33.9
Orta	358	32.5
Yüksek	369	33.5
Toplam	**1,100**	**100.0**

Çizelge 2'de görüldüğü üzere, veri setinde yer alan 1.100 öğrencinin stres düzeyi, "**stress_level"** sınıf etiketi altında üç kategori halindedir. WEKA çıktılarına göre, düşük stres düzeyine sahip öğrenci sayısı 373 (%33,9), orta stres düzeyine sahip öğrenci sayısı **358** (%32,5) ve yüksek stres düzeyine sahip öğrenci sayısı 369 (%33,5) olarak gözlenmiştir.

Bu araştırmada kullanılan öznitelikler sırasıyla anksiyete düzeyi, özsaygı, zihinsel sağlık geçmişi, depresyon, baş ağrısı, kan basıncı, uyku kalitesi, nefes alma problemi, gürültü düzeyi, yaşam koşulları, güvenlik algısı, temel ihtiyaçların karşılanma durumu, akademik performans, çalışma yükü, öğretmen-öğrenci ilişkisi, gelecek kariyer kaygıları, sosyal destek, akran baskısı, ders dışı etkinliklere katılım ve zorbalık değişkenlerinden oluşmak olup Şekil 1'de belirtilen sıra ile her bir özniteliğin dağılımı verilmiştir.



Görsel 3. Öğrenci Stres Veri Setine Ait Özniteliklerin Dağılım Grafikleri

Bu veri seti 21 öznitelikten oluşmaktadır. Öznitelikler genel olarak 1-5 aralığında derecelendirildiği ve çoğunlukla orta düzeylerde yoğunlaştığı görülmektedir. Psikolojik değişkenler olan anksiyete düzeyi, özsaygı, depresyon ve zihinsel sağlık geçmişinde öğrencilerin ağırlıklı olarak orta kategori etrafında dağıldığı görülmektedir. Fiziksel durum göstergeleri (baş ağrısı, kan basıncı, uyku kalitesi, nefes alma problemi) açısından ise nispeten dengeli bir dağılım bulunduğu dikkat çekmektedir. Çevresel koşulları temsil eden gürültü düzeyi, yaşam koşulları, güvenlik ve temel ihtiyaçlar değişkenlerinde de benzer şekilde orta düzey hâkimdir. Akademik performans, çalışma yükü, öğretmen-öğrenci ilişkisi ve kariyer kaygıları değişkenleri öğrenciler arasında belirgin bir çeşitlilik göstermektedir. Bu da bireysel akademik deneyimlerin heterojenliğine işaret etmektedir. Sosyal destek, akran baskısı, ders dışı etkinliklere katılım ve zorbalık değişkenlerinin dağılımları da orta seviye çevresinde yoğunlaşmaktadır. Sınıf etiketi olan stres düzeyinin düşük, orta ve yüksek kategoriler arasında dengeli bir şekilde dağılmış olması, sınıflandırma modellerinin tüm sınıf yapısını eşit biçimde öğrenebilmesi açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

3.2. Veri Ön İşleme

Analizden önce veri seti WEKA 3.8 yazılımına aktarılmış ve tüm değişkenlerin ölçüm düzeyleri kontrol edilmiştir. Hedef değişkenin nominal formda olduğu doğrulanmış, bağımsız değişkenlerin tamamı sayısal (numeric) formatta bırakılmıştır. Veri seti dengeli bir sınıf yapısına sahip olduğundan örnekleme veya yeniden dengeleme işlemleri uygulanmamıştır. Modelleme sürecinde tüm algoritmaların aynı koşullarda karşılaştırılabilmesi için herhangi bir özellik ölçeklendirme, normalizasyon veya dönüştürme işlemi yapılmamıştır. Eksik verinin olmadığı görülmüştür.

3.3. Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

Öğrenci stres düzeylerini sınıflandırmak amacıyla WEKA'da beş farklı makine öğrenmesi algoritması uygulanmıştır:

1. Naive Bayes: Olasılıksal temelli bir yaklaşım olup, özelliklerin koşullu bağımsız olduğu varsayımıyla çalışmaktadır.
2. Simple Logistic: Lojistik regresyonun WEKA'daki uygulamasıdır, doğrusal karar sınırlarına dayalı sınıflandırma yapmaktadır.
3. IBk (Instance-Based): k-En Yakın Komşu (k-Nearest Neighbors, k-NN) algoritmasının WEKA'daki uygulamasıdır. Örüntü tanıma temelli bir yöntem olup, sınıflandırmayı örnekler arası mesafeyi esas alarak gerçekleştirmektedir.
4. J48 (C4.5 Karar Ağacı): Hiyerarşik yapıdaki karar kurallarıyla sınıflandırma yapan yöntemdir.
5. Random Forest**:** Rastgele oluşturulan birden fazla karar ağacından elde edilen çıktıları bir araya getirerek çalışan bu yöntem hem regresyon hem de sınıflandırma problemlerinin çözümünde etkili biçimde kullanılmaktadır.

Tüm algoritmalar 10 katmanlı çapraz doğrulama (10-fold cross-validation) yöntemiyle değerlendirilmiştir.

3.4. Model Değerlendirme Ölçütleri

Modellerin performansı aşağıdaki ölçütler üzerinden değerlendirilmiştir:

- Accuracy (Doğruluk): Doğru sınıflandırılan gözlemlerin toplam gözlem sayısına oranını ifade etmektedir.
- Precision (Kesinlik): Her bir sınıf için doğru pozitiflerin toplam pozitif tahminlere oranını ifade etmektedir.

- Recall (Duyarlılık): Sınıfa ait gözlemlerin doğru şekilde yakalanma oranını ifade etmektedir.
- F1-Score: Precision ve Recall'un harmonik ortalamasıdır.

Bu değerlendirme ölçütleri, modeller arasındaki performans farklarının nesnel olarak karşılaştırılması için kullanılmıştır.

3.5. Açıklanabilir Yapay Zekâ Yaklaşımları (Explainable AI – ELI5 ve SHAP)

Bu araştırmada sınıflandırma modelleri öncelikle **WEKA** yazılımı üzerinde uygulanmış ve beş farklı algoritma (Naive Bayes, Simple Logistic, k-En Yakın Komşu, J48 karar ağacı ve Random Forest) karşılaştırılmıştır. Modellerin doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-skoru metrikleri değerlendirilerek en yüksek performansa sahip model belirlenmiştir. Bu modelin içsel karar mekanizmalarını daha derinlemesine incelemek amacıyla açıklanabilir yapay zekâ (XAI) analizleri Python ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada **Google Colab** çalışma ortamı kullanılmış; veri işleme için pandas ve NumPy, model yeniden kurulumu için scikit-learn, açıklanabilirlik analizleri için ise **ELI5** (permutation importance) ve **SHAP** (Shapley değerleri) kütüphanelerinden yararlanılmıştır. Böylece WEKA'da en iyi performans gösteren modelin hangi özniteliklere dayandığı ve stres düzeyi sınıflandırmasını nasıl gerçekleştirdiği ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur.

Makine öğrenmesi modellerinin karar mekanizmalarını yorumlayabilmek amacıyla araştırmanın ikinci aşamasında açıklanabilir yapay zekâ (XAI) teknikleri kullanılmıştır. Modelleme sürecinde en yüksek doğruluğa ulaşan sınıflandırıcı Python ortamında yeniden eğitilmiş ve aşağıdaki iki açıklanabilirlik yaklaşımı uygulanmıştır.

ELI5 (Explain Like I'm 5) bir açıklanabilir yapay zeka yöntemi olup, makine öğrenmesi modellerinin tahminlerini açıklamaya yardımcı olan açıklanabilir yapay zeka yöntemlerindendir. Modelin hangi değişkenlere ne ölçüde bağımlı olduğunu hem global hem lokal düzeyde yorumlama imkânı sağlar. Özellikle Permutation Importance tekniği, model başarısındaki düşüşü temel alarak öznitelik önemlerini hesaplaması nedeniyle literatürde güçlü ve güvenilir bir açıklama yöntemi olarak kabul edilmektedir. (ELI5, 2024; Lugoma ve Ilunga, 2025). Çalışmada peroformansı en yüksek olan Simple Logistic modeli için ELI5 Permutation Importance uygulanarak global düzeyde en etkili değişkenler belirlenmiştir.

SHAP (SHapley Additive exPlanations), her bir özelliğin model tahminine katkısını Shapley değerleriyle hesaplayan bir XAI yöntemidir. Oyun teorisine dayanan Shapley değeri kavramı temel alınarak geliştirilmiştir. Shapley değeri, her bir bileşenin toplam çıktıya olan marjinal katkısını ölçmek amacıyla geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu yaklaşımda, ilgili bileşenin modele dâhil edilmesi ve çıkarılması durumlarında elde edilen çıktı farkları dikkate alınarak katkı düzeyi belirlenir. (Yıldırım ve diğ., 2024). Hem global hem de lokal düzeyde açıklamalar üretmektedir. Stres düzeyini artıran veya azaltan faktörleri nicel olarak ortaya koymaktadır.

3.6. Analiz Süreci

Yöntem de hem WEKA hem Python yazılımı kullanılmıştır. WEKA hızlı karşılaştırma imkanı sunarken, Python güçlü bir XAI ekosistem sunmaktadır. Yöntem süreci aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir:

1. Veri setinin WEKA'ya aktarılması ve hedef değişkenin tanımlanması.
2. Beş farklı sınıflandırma algoritmasının 10-fold cross-validation ile eğitilmesi ve değerlendirilmesi.

3. Elde edilen performans ölçütlerine göre en başarılı modelin seçilmesi.
4. Seçilen modelin Python ortamında yeniden kurulması.
5. Modelin karar mekanizmasının ELI5 ve SHAP yöntemleriyle açıklanması.
6. Elde edilen açıklamalar doğrultusunda stres düzeyini belirleyen temel faktörlerin yorumlanması.

4. BULGULAR

Beş farklı makine öğrenmesi algoritmasının sınıflandırma performansları karşılaştırmalı olarak Çizelge 3'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modeller arasında yakın performans sonuçları bulunduğunu göstermektedir. Simple Logistic algoritması, tüm modeller içinde en yüksek doğruluk oranına (%88,73) ulaşarak genel performans açısından en başarılı sınıflandırıcı olarak öne çıkmıştır. Ağırlıklı ortalama F1-skoru (0,887) ve Precision değerleri de bu modeli diğerlerine göre daha tutarlı ve dengeli kılmaktadır.

Çizelge 9. Makine Öğrenmesi Algoritmalarının Performans Karşılaştırması

Algoritma	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Naive Bayes	0.8745	0.878	0.875	0.875
Simple Logistic	0.8873	0.888	0.887	0.887
IBk (k-NN)	0.8745	0.875	0.875	0.875
J48 Karar Ağacı	0.8809	0.881	0.881	0.881
Random Forest	0.8681	0.869	0.868	0.868

J48 karar ağacı, doğruluk (%88,09) ve F1-skoru (0,881) açısından güçlü bir performans göstererek Simple Logistic'in çok az gerisinde kalmıştır. Naive Bayes ve IBk (k-NN) algoritmaları benzer doğruluk ve F1-skoru değerleri üretmiş (%87,45, F1=0,875), bu iki modelin benzer başarı düzeyine sahip olduğunu göstermiştir.

Random Forest modeli, literatürde genellikle en güçlü sınıflandırıcılardan biri olarak kabul edilmesine karşın, WEKA ortamında yapılan bu çalışmada doğruluk açısından nispeten daha düşük bir performans sergilemiştir (%86,81).

Genel olarak değerlendirildiğinde, Simple Logistic algoritmasının hem doğruluk hem de F1-skoru bakımından diğer modeller ile yakın sonuçlar üretse de nicel olarak geride bıraktığı ve stres düzeylerinin sınıflandırılması için en güçlü aday olduğu görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın ikinci aşamasında modelin karara etki eden özniteliklerin daha ayrıntılı biçimde incelenebilmesi amacıyla açıklanabilir yapay zekâ (ELI5 ve SHAP) analizleri için bu model tercih edilmiştir. ELI5 permütasyon önemi Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 10. Stres Düzeyi Tahmini Modeli İçin Öznitelik ELI5 Permütasyon Önemleri

S.No	Öznitelik	Ortalama Önem Değeri	Önem Değeri Standart Sapması
1	blood_pressure	0.364545	0.015851
2	social_support	0.064545	0.006030
3	noise_level	0.001818	0.002227
4	anxiety_level	0.000909	0.001818

5	teacher_student_relationship	0.000909	0.003402
6	living_conditions	0.000000	0.000000
7	study_load	0.000000	0.002875
8	self_esteem	-0.000909	0.001818
9	future_career_concerns	-0.000909	0.001818
10	mental_health_history	-0.000909	0.001818
11	headache	-0.000909	0.001818
12	depression	-0.001818	0.002227
13	academic_performance	-0.001818	0.004635
14	extracurricular_activities	-0.001818	0.002227
15	sleep_quality	-0.001818	0.002227
16	safety	-0.001818	0.002227
17	peer_pressure	-0.003636	0.003402
18	breathing_problem	-0.004545	0.000000
19	bullying	-0.004545	0.000000
20	basic_needs	-0.010000	0.001818

Lojistik regresyon modeli üzerinde ELI5 kütüphanesi ile gerçekleştirilen permüstasyon önem analizi Çizelge 4'te sunulmuştur. Buna göre stres düzeyi tahmininde bazı değişkenlerin diğerlerine kıyasla belirgin ölçüde öne çıktığı görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, blood_pressure (kan basıncı) değişkeni en yüksek önem değerine (importance mean = 0.36) sahiptir. Modelin üç stres kategorisini ayırt ederken en fazla ekilendiği değişken konumundadır. Bu bulgu, kan basıncına ilişkin değişimlerin stres düzeyinin sınıflandırılmasında kritik bir rol oynadığını ve fizyolojik göstergelerin model açısından güçlü bir belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci sırada yer alan social_support (sosyal destek) değişkeni (importance_mean = 0.06), görece daha düşük fakat yine de anlamlı bir katkı sunmaktadır. Öğrencilerin algıladıkları sosyal destek düzeyinin stres sınıflandırmasına hissedilir bir etki yaptığına işaret etmektedir. Diğer özniteliklerin önem değerleri ise sıfıra oldukça yakın veya hafif negatif düzeylerde seyretmektedir. Bu durum, modelin ilgili özellikleri kullanmakla birlikte, stres düzeyinin açıklanmasında baskın açıklayıcı gücün büyük ölçüde kan basıncı ve kısmen de sosyal destek değişkenlerinde toplandığını göstermektedir.

ELI5 yöntemiyle gerçekleştirilen permütasyon önem analizi, modelin stres düzeyini tahmin ederken öncelikle kan basıncı, ardından sosyal destek özniteliklerinden etkilendiğini göstermiştir. ELI5 gibi XAI yöntemlerinden biri olan SHAP yöntemi kullanılarak stres düzeyi tahmin modeline ait özniteliklerin ortalama mutlak SHAP değerleri de Çizelge 5'te sunulmuştur.

Çizelge 11. Stres Düzeyi Tahmini Modeli İçin Özniteliklerin Ortalama Mutlak SHAP Değerleri

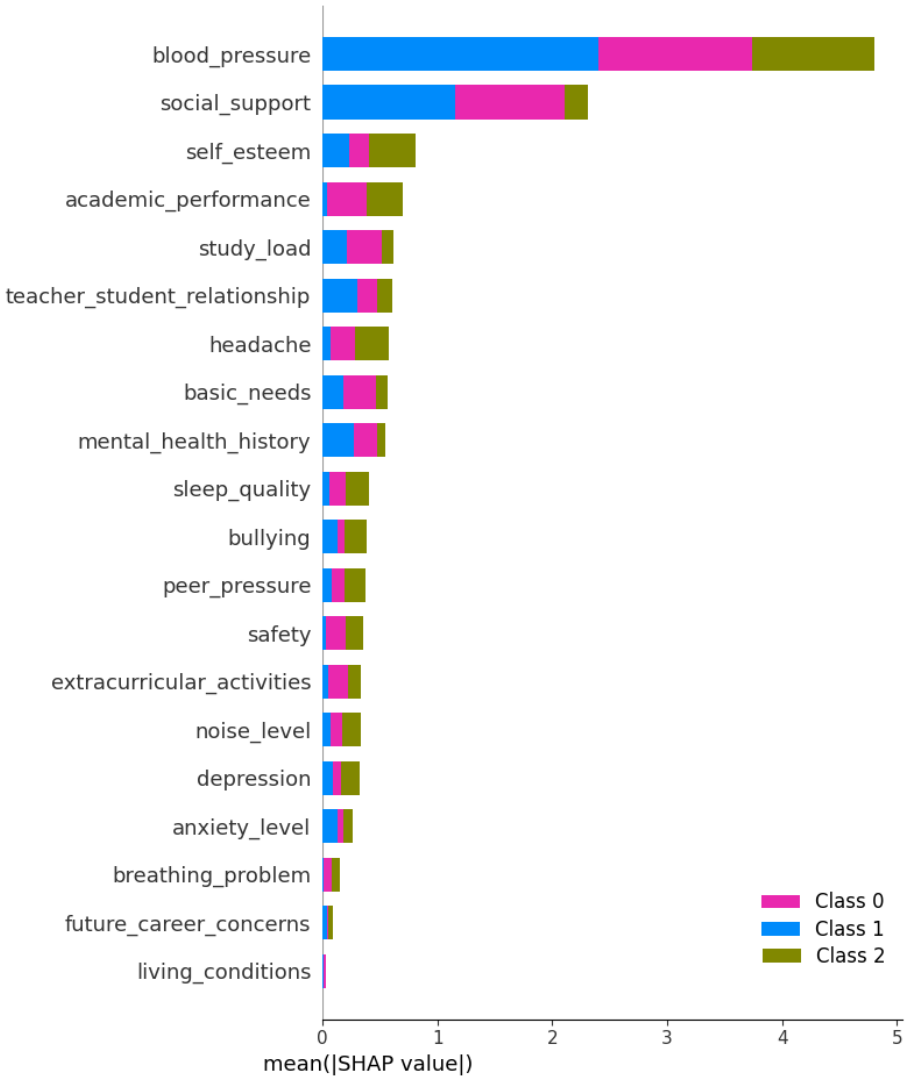
S.No	Öznitelik	Ortalama Mutlak SHAP
1	blood_pressure	1.60
2	social_support	0.77
3	self_esteem	0.26
4	academic_performance	0.23
5	study_load	0.20
6	teacher_student_relationship	0.20
7	headache	0.19
8	basic_needs	0.18
9	mental_health_history	0.18
10	sleep_quality	0.13

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

11	bullying	0.12
12	peer_pressure	0.12
13	safety	0.11
14	extracurricular_activities	0.11
15	noise_level	0.11
16	depression	0.10
17	anxiety_level	0.08
18	breathing_problem	0.05
19	future_career_concerns	0.02
20	living_conditions	0.01

Çizelge 5'teki SHAP analizi de, ortalama mutlak SHAP değeri en yüksek olan özniteliklerin blood_pressure (kan basıncı, 1.60) ve social_support (sosyal destek, 0.77) olduğunu ortaya koyarak ELI5 yöntemindeki en yüksek öznitelikler ile aynı sonucu vermiştir. Bu iki yöntemin tutarlı bulguları, kan basıncına ilişkin bilgilerin model açısından temel bir fizyolojik gösterge ve stres düzeyinin güçlü bir belirleyicisi olduğunu göstermektedir.

SHAP sonuçları, bunun yanında self_esteem (benlik saygısı, 0.27), academic_performance (akademik başarı, 0.23), study_load (çalışma yükü, 0.21), teacher_student_relationship (öğretmen–öğrenci ilişkisi, 0.20) ve headache (baş ağrısı, 0.19) gibi değişkenlerin de modele anlamlı katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu yapı, stres düzeyinin yalnızca fizyolojik göstergelerle değil, aynı zamanda sosyal destek düzeyi, benlik saygısı, akademik başarı ve çalışma yükü gibi psikososyal ve akademik faktörlerle birlikte açıklanabildiğine işaret etmektedir. Daha düşük önem düzeyine sahip basic_needs (temel ihtiyaçlar), mental_health_history (mental sağlık geçmişi), sleep_quality (uyku kalitesi), bullying (zorbalık), peer_pressure (akran baskısı), safety (güvenlik algısı) ve extracurricular_activities (ders dışı etkinlikler) gibi değişkenler ise modele ikincil düzeyde katkı sağlayan destekleyici göstergeler olarak değerlendirilebilir. ELI5 ve SHAP birlikte ele alındığında, modelin karar verme sürecinde öncelikle fizyolojik risk göstergelerinin (özellikle kan basıncı), ardından sosyal ve akademik bağlamı temsil eden değişkenlerin belirleyici rol oynadığı görülmektedir.



Görsel 4. SHAP Global Öznitelik Önem Dağılımı Grafiği

Görsel 2'de görülen SHAP öznitelik önem grafiği, stres düzeyinin sınıflandırılmasında kullanılan lojistik regresyon modelinin hangi özniteliklere ne ölçüde bağımlı olduğunu çok sınıflı düşük-orta- yüksek (0-1-2) yapı dikkate alınarak ortaya koymaktadır. Grafik, her bir öznitelik için üç sınıfa ait ortalama mutlak SHAP değerlerini göstermekte ve modelin karar verme sürecinde özniteliklerin göreli katkı düzeylerini açıkça ortaya koymaktadır.

Grafiğe göre modelde en baskın değişken "**blood_pressure" (kan basıncı)** olup, üç sınıf için de en yüksek SHAP değerlerini üretmiş ve stres düzeyi tahmininde birincil belirleyici olarak öne çıkmıştır. Bu bulgu, ELI5 sonuçlarıyla tutarlı biçimde, fizyolojik göstergelerin model açısından merkezi bir rol oynadığını göstermektedir. "**social_support" (sosyal destek)** değişkeni ise ikinci sırada yer almakta ve özellikle Class 1 (orta) ve Class 0 (düşük) üzerinde anlamlı etki büyüklükleri sergilemektedir. Bu durum sosyal destek düzeyinin stresin azalması veya artması üzerinde önemli bir psikososyal belirleyici olduğunu göstermektedir.

Diğer önemli değişkenler arasında "self_esteem" (benlik saygısı), "academic_performance" (akademik başarı), "study_load" (çalışma yükü) ve "teacher_student_relationship" (öğretmen–öğrenci ilişkisi) bulunmaktadır. Bu değişkenler, fizyolojik göstergelere kıyasla daha düşük SHAP değerlerine sahip olmakla birlikte, modelin sınıflar arasında ayrım yapmasına anlamlı katkı sağlamaktadır. "headache" (baş ağrısı), "basic_needs" (temel ihtiyaçlar),

“mental_health_history” (mental sağlık geçmişi) ve “sleep_quality” (uyku kalitesi) gibi öznitelikler de stres düzeyinin belirlenmesinde fazla etkili olmamakla birlikte destekleyici bir role sahiptir.

Grafiğin alt sıralarında yer alan “living_conditions” (yaşam koşulları), “future_career_concerns” (gelecek kariyer kaygısı) ve “breathing_problem” (nefes alma problemi) gibi değişkenler ise modelde sınırlı düzeyde etkiye sahip olup stres düzeyinin belirlenmesinde görece düşük öneme sahip olduğu belirtilebilir.

Bu bulgular bir arada değerlendirildiğinde, modelin stres düzeyini belirlerken ağırlıklı olarak fizyolojik (blood_pressure) ve psikososyal (social_support, self_esteem) değişkenlere dayandığı, akademik ve yaşam tarzı faktörlerinin ise tamamlayıcı nitelikte rol oynadığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada, öğrencilerin stres düzeylerini (düşük, orta, yüksek) tahmin etmek amacıyla beş farklı sınıflandırma algoritması (Naive Bayes, Simple Logistic, IBk, J48 ve Random Forest) uygulanmıştır. Modellerin performansı doğruluk, Precision, Recall, F1 skorları üzerinden değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonuçları, lojistik regresyon temelli Simple Logistic algoritmasının en yüksek doğruluk oranını (%88.72) üreterek stres düzeyi tahmininde en başarılı model olduğunu göstermiştir. Naive Bayes ve IBk modelleri benzer doğruluk seviyeleri sunmasına karşın, Simple Logistic tutarlı sınıf performansı ve diğerlerine nispeten yüksek ayrıştırma gücü ile öne çıkmıştır. Karar ağacı (J48) ve Random Forest modelleri de güçlü sınıflandırma performansları sergilemiş fakat sayısal büyüklük açısından Simple Logistic’in gerisinde kalmıştır.

En iyi performans gösteren Simple Logistic modeli üzerinde modelin karar mekanizmasını açıklamak amacıyla ELI5 ve SHAP yöntemi olmak üzere iki açıklanabilir yapay zekâ yöntemi uygulanmıştır. Her iki yöntem de stres düzeyi sınıflandırmasında “blood_pressure” (kan basıncı) değişkeninin açık biçimde en belirleyici öznitelik olduğunu ortaya koymuştur. Bu uyumlu bulgular, fizyolojik göstergelerin (özellikle kan basıncı) stres düzeylerinin sınıflandırılmasında merkezi bir rol oynadığını göstermektedir.

SHAP yöntemi sonuçları kan basıncıdan sonra sosyal destek, özsaygı, akademik performans, çalışma yükü ve öğretmen-öğrenci ilişkisi gibi psikososyal ve akademik değişkenlerin model tahminlerinde anlamlı katkılar sunduğunu ortaya koymuştur. Tariq ve diğ. (2025), aynı veri setinde Python programı üzerinden yapmış olduğu model karşılaştırmasında Random Forest algoritmasını başarılı bulmuş ve SHAP yöntemi uygulamıştır. Uyguladığı SHAP yöntemi sonucunda en etkili beş özniteliğin; kan basıncı, güvenlik algısı, uyku kalitesi, öğretmen öğrenci ilişkisi ve ders dışı etkinliklere katılım olduğunu belirtmiştir. Bu değişkenlerin SHAP katkıları, psikososyal faktörlerin ve akademik baskı unsurlarının stresin oluşumunda önemli açıklayıcı role sahip olduğunu göstermektedir. ELI5 analizinde bu değişkenler daha düşük permütasyon önem değerleri üretmiş olsa da her iki yöntem birlikte değerlendirildiğinde modelin karar yapısının yalnızca fizyolojik belirtilere değil, aynı zamanda öğrencinin sosyal çevresine, benlik algısına ve akademik yüküne dayandığı görülmektedir.

Ek olarak bu bulgular, aynı veri setini kullanan önceki çalışmalarla doğrudan karşılaştırılabilir niteliktedir**.** Örneğin, Yeler ve Sürücü (2025) aynı veri seti üzerinde gerçekleştirdiği analizde Logistic Regression algoritmasının %88.1 doğruluk oranı ile en başarılı model olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sonuç, mevcut çalışmada WEKA ortamında elde edilen Simple Logistic bulgusuyla büyük ölçüde örtüşmektedir. Buna karşılık, Yüksel (2023), Deena ve diğ. (2024) ile Arya ve diğ. (2024) gibi çalışmalarda yine aynı veri seti kullanılmış olmasına rağmen Gaussian Naive Bayes veya farklı algoritmaların daha yüksek doğruluk değerleri sunduğu belirtilmiştir. Bu durum, veri setinden ziyade kullanılan yazılım ortamı (WEKA–Python), algoritma uygulama detayları, varsayılan parametreler ve doğrulama stratejilerindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, stres düzeyi tahmininde model performansının yalnızca algoritma türüne değil, uygulama ortamına ve yapılandırma tercihlerine de duyarlı olduğunu göstermektedir.

Literatür ve mevcut bu araştırma genel olarak değerlendirildiğinde, bu çalışma aynı veri seti üzerinde WEKA ortamında gerçekleştirilen kapsamlı bir model karşılaştırması ve açıklanabilirlik analizi sunarak literatürdeki Python ve diğer programlar kullanılarak yapılan çalışmalara tamamlayıcı nitelikte bulgular üretmektedir. Sonuçlar, öğrenci stresinin hem fizyolojik hem de psikososyal boyutlarının birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca makine öğrenmesi tabanlı stres tahmin çalışmalarında performans kadar açıklanabilirliğin de kritik bir bileşen olduğunu vurgulamaktadır.

Özetle, sonuçlar Simple Logistic modelinin stres düzeylerini yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini; SHAP ve ELI5 analizlerinin ise modelin şeffaflığını artırarak hangi faktörlerin stresi en güçlü biçimde açıkladığını ortaya koyduğunu göstermektedir. Bulgular, öğrenci stresinin hem fizyolojik hem de psikososyal boyutlarıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmekte ve ilerleyen çalışmalarda hem klinik göstergelerin hem de davranışsal/sosyal değişkenlerin bütüncül olarak ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

Anugrahaini, S. R., Fatchan, M. ve Wiyatno, T. N., *Model Prediksi Tingkat Stres di Kalangan Siswa dengan Pendekatan Algoritma Artificial Neural Network Menggunakan Orange*, JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 9(3), 4742–4748, 2025.

Arya, S., Anju ve Ramli, N. A. (2024). Predicting the stress level of students using supervised machine learning and artificial neural network (ANN). *Indian Journal of Engineering*, 21.

Burkov, A., *The Hundred-Page Machine Learning Book*, Andriy Burkov/Quebec City, 2019.

Cüceloğlu, D., *İnsan ve Davranışı: Psikolojinin Temel Kavramları*, Remzi Kitabevi/İstanbul, 1994.

Das, A. ve Rad, P. (2020). Opportunities and challenges in explainable artificial intelligence (XAI): A survey. arXiv. https://arxiv.org/abs/2006.11371 (Erişim tarihi: 15.12.2025)

de Filippis, R. and Foysal, A. A. (2024). Comprehensive analysis of stress factors affecting students: a machine learning approach. *Discover Artificial Intelligence*, 4 (1),62. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s44163-024-00169-6.pdf (Erişim tarihi: 15.12.2025)

Deena, G., Sandhya, A. and Raja, K. (2024). Machine learning-based classification and prediction of student stress levels: A comparative study of algorithms. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 102 (19). https://www.jatit.org/volumes/Vol102No19/16Vol102No19.pdf (Erişim tarihi: 15.12.2025)

ELI5. (2024). *Permutation importance*. https://eli5.readthedocs.io/en/latest/blackbox/permutation_importance.html (Erişim tarihi: 15.12.2025)

Géron, A., *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems*, O'Reilly Media, 2017.

Kaggle. (2025). *Comprehensive analysis of student stress datasets* [Data set]. Erişim tarihi: 16 Aralık 2025, https://www.kaggle.com/code/mdsultanulislamovi/comprehensive-analysis-student-stress-datasets/input?select=StressLevelDataset.csv

Lugoma, M. and Ilunga, M., *Interpreting Decision Tree Model Using ELI5 for Modelling Student Performance: Case of a Structural Analysis Graduate Attribute-Based Teaching Course*, 11th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'25), Valencia, 17–20 June, 2025. https://doi.org/10.4995/HEAd25.2025.20273

Tariq, R., Orozco-del-Castillo, M. G., Zamir, M. T., Ramírez-Montoya, M. S. ve Wilberforce, T., *Explainable artificial intelligence for predictive modeling of student stress in higher education*, Scientific Reports, 15(1), 38375, 2025.

Yeler, K. and Sürücü, S. (2025). Classification of student stress levels using machine learning methods. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 9 (10), 210-214.

Yıldırım, M., Yıldırım Okay, F. and Özdemir, S. (2024). A comparative analysis on the reliability of interpretable machine learning. ***Pamukkale University Journal of Engineering Sciences***, 30 (4). https://doi.org/10.5505/pajes.2023.49473

Yüksel, H. (2023). Yapay zekâ algoritmaları kullanılarak öğrencilerin akademik başarısı ile stres ilişkisinin keşifsel bir analizi. *Journal of Information Systems and Management Research*, 5 (2), 10-20.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DAMB: A DYNAMIC ADAPTIVE MULTI-MODEL BENCHMARKING FRAMEWORK FOR ABSTRACTIVE TEXT SUMMARIZATION

Mehmet BURUKANLI
Bitlis Eren Üniversitesi/Rektörlük/Ortak Dersler Bölümü,
mburukanli@beu.edu.tr - 0000-0003-4459-0455

Davut ARI
Bitlis Eren Üniversitesi/Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi/Bilgisayar Mühendisliği,
dari@beu.edu.tr - 0000-0001-6439-7957

ABSTRUCT

The internet and information technologies have advanced significantly, but this has led to a large amount of text data, making tasks such as document management, text sorting, and information retrieval more challenging. Automatic Text Summarization (ATS) tools have been a good solution to this problem by extracting key information and creating short, easy-to-read summaries. Despite increasing research interest, ATS systems still suffer from critical limitations, including repetitive outputs for long documents, unrealistic information, and difficulties in handling out-of-vocabulary (OOV) words and fundamental concepts. These problems are accompanied by issues such as the high computational cost and large data requirements of many ATS models. In this study, we propose a Dynamic Adaptive Multi-Model Benchmarking (DAMB) model to predict the summaries of news samples in the CNN-DailyMail news dataset. The proposed DAMB model simultaneously trains multiple summarization models (mt5, mbart, bart, t5s, t5b, pegasus, peglarge) for each news summary and dynamically selects the best model for each sample, performing this selection using a combined metric, the DAMB score. Furthermore, the proposed DAMB model is compared with other models on the CNN-DailyMail dataset in terms of ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L, METEOR, BERTScore, and CHRF values. A detailed examination of the experimental results reveals that the proposed DAMB model achieved better results than other models with values of 0.405 ROUGE-1, 0.194 ROUGE-2, 0.305 ROUGE-L, 0.418 METEOR, 0.887 BERTScore, and 44.625 CHRF. On the other hand, the mbart model performed worse than the other models in terms of values of 0.008 ROUGE-1, 0.019 METEOR, and 0.508 CHRF. In conclusion, the proposed DAMB model was quite successful in summarizing news on the CNN-DailyMail dataset.

Keywords: News summarization, Automatic text summarization, DAMB model, CNN-DailyMail, natural language processing

INTRODUCTION

Today, accessing effective and efficient information often requires dealing with vast amounts of digital textual materials(M. Zhang et al., 2022). In recent years, ATS has played a critical role in addressing these challenges by focusing on important information within large volumes of text and filtering out only the necessary text content (Gupta & Gupta, 2019). However, since their early stages, traditional ATS methods have largely relied on statistical and frequency-based approaches and have tended to deviate from producing truly meaningful summaries in large texts, thereby failing to adequately satisfy users (Syed et al., 2021). Deep learning (DL), which has happened one of the most frequently referenced approaches across many research domains today, has also provided researchers in this field with effective means to overcome existing bottlenecks. By predominantly employing DL-based ATS models, researchers have achieved significant progress by addressing the limitations of traditional methods, particularly their inadequacy in representing the meaning of the source text in generated summaries and their inability to generate new information beyond the original text (M. Zhang et al., 2022). Similarly, Transformer-based encoder–decoder architectures, which are capable of modeling rich contextual relationships between raw texts and their corresponding summaries and of generating fluent text, are frequently encountered in ATS research (Syed et al., 2021)(M. Zhang et al., 2022). On the other hand, in recent years, transfer learning–based models such as BART, T5, and PEGASUS, which are built upon pretrained sequence-to-sequence frameworks, have emerged as effective tools across diverse datasets and multilingual environments (Choudhary et al., 2023)(Kotkar et al., 2024)(Bharathi Mohan et al., 2023). However, evaluations conducted by researchers indicate that no single model consistently achieves superior performance across all text types. Model performance is strongly influenced by factors such as document length, text type (e.g., news, medical), writing style, and information density.(Bani-Almarjeh & Kurdy, 2023)(Chouikhi & Alsuhaibani, 2022)(Blekanov et al., 2022)(Ay et al., 2023). A review of the literature reveals several fundamental gaps in this field, namely the insufficiency of labeled datasets for low-resource languages and domain-specific tasks, the lack of semantic-based evaluation metrics, and the predominant use of fixed hierarchical or ensemble approaches rather than document-specific dynamic model selection in most studies(Blekanov et al., 2022)(Swetha & Kumar, 2024).

Summarization models that exhibit strong experimental performance may yield poorer results in practical applications when the document type changes, compared to traditional methods. Moreover, since ATS performance evaluation largely relies on lexical overlap–based metrics such as ROUGE, these measures fail to adequately capture critical dimensions of summary quality, including semantic accuracy, fluency, and factual consistency(Chouikhi & Alsuhaibani, 2022). Although ensemble learning and hybrid approaches have been proposed in the existing literature to address these limitations, these methods predominantly rely on static combinations or predefined multi-stage frameworks(Swetha & Kumar, 2024)(Syed et al.,

2021)(Kale & Deshmukh, 2024)(Yogendra Prasad et al., 2025)(Harivignesh et al., 2022)(Altundogan et al., 2024).

In this study, the DAMB model is proposed to predict news summaries from the CNN-DailyMail news dataset (Hermann et al., 2015)(See et al., 2017) with strong performance. The proposed DAMB model conducts a comprehensive multi-model benchmarking process by separately training multiple Transformer-based pre-trained summarization models, including mT5, mBART, BART, T5-small, T5-base, PEGASUS, and PEGASUS-Large, for each news summary, and individually analyzes model performance using widely adopted automatic performance metrics such as ROUGE, METEOR, BERTScore, and CHRF.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

In this study, the details of the t5s, t5b, mt5, bart, mbart, pegasus, peglarge, and the proposed DAMB models used to estimate the summarization of news samples in the CNN-DailyMail news dataset are explained below under separate headings.

2.1. T5-small and T5-base model

The T5 approach can be described as a transformer-based model frequently preferred in all NLP tasks. While the T5-small and T5-base approaches fundamentally share the same architecture, they differ in terms of parameter number, etc. (Raffel et al., 2020).

2.2. mT5 model

The mT5 approach can be thought of as a multi-lingual extended version of the T5 model. This model is primarily trained on multilingual datasets (Xue et al., 2021).

2.3. BART model

The BART approach is a transformer-based model projected particularly for tasks such as text summarization generation. This model is considered quite successful in tasks like text summarization (Lewis et al., 2020).

2.4. mBART model

The mBART model is designed as a multi-lingual version of the BART model. The mBART model has been generally used in text summarization tasks (Liu et al., 2020).

2.5. PEGASUS and PEGASUS-Large models

The PEGASUS approach is a transformer-based language model specifically developed for long document summarization tasks. The PEGASUS-Large approach is a version of the PEGASUS approach with higher parameter capabilities (J. Zhang et al., 2020).

2.6. Proposed DAMB model

This study proposes a Dynamic Adaptive Multiple Model Comparison (DAMB) approach to predict summaries of news samples in the CNN-DailyMail news dataset. The proposed DAMB model simultaneously trains multiple summarization models (mt5, mbart, bart, t5s, t5b, pegasus, peglarge) for each news summary and dynamically selects the best model for each sample, using a combined metric, the DAMB score. In other words, each model is trained, and metrics such as ROUGE are calculated, then the DAMB score is obtained. The approach with the highest DAMB score is the value of the proposed DAMB approach.

The DAMB score for each summarization has been calculated as follows:

$$DAMB\ Score = 0.35\ X\ ROUGE - L + 0.30\ X\ BERTScore + 0.20\ X\ METEOR + 0.15\ X\ CHRF$$

Due to document-specific characteristics, the text summarization problem cannot be completely solved with a single model. Therefore, a DAMB model with multiple choices is proposed in this study. The proposed DAMB differs from classical ensemble approaches.

2.7. The CNN-DailyMail dataset

The CNN/DailyMail is a dataset of English news texts commonly used in AI and NLP tasks. Generally, this dataset has become a standard for tasks such as text summarization. The CNN/DailyMail dataset comprises news articles and corresponding human-written summaries (referred to as reference summaries). The CNN/DailyMail dataset is frequently preferred in both classical and modern AI-based text summarization studies (Hermann et al., 2015)(See et al., 2017). In this study, considering the high computational cost of training and evaluating multiple models, the CNN/DailyMail dataset were used for 4000 data samples from training, 400 data samples for validation, and 100 data samples for testing. The details of dataset of the CNN/DailyMail are shown in Table 1.

Table 12. CNN-DailyMail details (Training, validation and testing)

Dataset name	Dataset value
Training	4000
Validation	400
Testing	100

3. RESULTS AND EVALUATION

The hyperparameters used during training of the proposed DAMB approach and other approaches are given in Table 2.

Table 13. The hyperparameters used during training of the proposed DAMB approach and other models

Hyperparameter name	Hyperparameter value
Epoch number	100

Batch size	8
Learning rate	5e-4 (0.0005)
Size of input texts	512
Size of generated summaries	128
Beam search in output generation	4
Early Stopping	EarlyStoppingCallback(2)

3.1. Performance evaluation metrics

The literature frequently emphasizes that a single evaluation metric cannot fully reflect the quality of the summarization. Therefore, the DAMB model adopts a multi-metric approach. Consequently, in this study, the proposed DAMB model has been compared with other models over the CNN-DailyMail dataset with regard to ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L, METEOR, BERTScore, and CHRF values. ROUGE briefly measures the superficial overlap between the reference text summarization and the generated summarization text (Lin, 2004). The formulas for ROUGE and its variations are given below.

$$ROUGE-1=\frac{\sum_{w\in R}\min\left(Count_R(w),Count_C(w)\right)}{\sum_{w\in R}Count_R(w)}$$

$$ROUGE-2=\frac{\sum_{s\in R}\min\left(Count_R(s),Count_C(s)\right)}{\sum_{s\in R}Count_R(s)}$$

$$R_{LCS}=\frac{LCS(R,C)}{|R|}$$

$$P_{LCS}=\frac{LCS(R,C)}{|C|}$$

$$ROUGE-L=\frac{(1+\beta^2)R_{LCS}P_{LCS}}{R_{LCS}+\beta^2P_{LCS}}$$

Here, R expresses the reference summarization, C represents the generated summarization, $Count_R(w)$ states the number of words in the reference summarization, $Count_C(w)$ expresses the number of words in the generated summarization, and w expresses the number of variables representing the word. Additionally, Longest Common Subsequence ($\mathrm{LCS(R,C)}$) expresses the lengthiness of the longest subsequence between the reference and summarization. β is a fixed number (for example, $\beta=1.2$) (Lin, 2004). METEOR is a performance evaluation metric used to measure how closely machine translation and text summarization outputs match human references (Banerjee & Lavie, 2025). The formulas for METEOR are given below.

$$P=\frac{m}{|C|}$$

$$R=\frac{m}{|R|}$$

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$F_{mean} = \frac{10PR}{R + 9P}$$

$$Penalty = \gamma(\frac{ch}{m})^{\theta}$$

$$\text{METEOR} = F_{mean} x(1 - Penalty)$$

Here, m expresses the number of matching words, $|R|$ represents the reference summarization length, $|C|$ represents the generated summarization length, and ch represents the number of matching word blocks. Additionally, γ and θ are constant coefficients ($\gamma = 0.5$, $\theta = 3$) (Banerjee & Lavie, 2025). BERTScore treats text as semantic vectors (embeddings) rather than as word sequences (T. Zhang et al., 2020). The formulas for BERTScore are given below.

$$P = \frac{1}{|C|} \sum_{x_i \in C} \max_{y_j \in R} sim(x_i, y_j)$$

$$R = \frac{1}{|R|} \sum_{x_i \in R} \max_{y_j \in C} sim(y_j, x_i)$$

$$BERTScore = \frac{2PR}{P + R}$$

Here, x_i expresses the generated summarization token embedding, and y_j represents the referral summarization token embedding. CHRF measures using character n-grams instead of words (Popović, 2015). The formulas for CHRF are given below.

$$P_d = \frac{\sum \min\left(Count_C(d), Count_R(d)\right)}{\sum Count_C(d)}$$

$$R_d = \frac{\sum \min\left(Count_C(d), Count_R(d)\right)}{\sum Count_R(d)}$$

$$P = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{D} P_d$$

$$R = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^{D} R_d$$

$$CHRF = \frac{(1 + \beta^2)PR}{R + \beta^2 P}$$

Here, d and β are constant values (usually $d = 1$ or $d = 6$, $\beta = 2$) (Popović, 2015).

3.2. Comparison of the proposed DAMB with other models.

In this study, the performance rates obtained by the proposed DAMB model and the t5s, t5b, mt5, bart, mbart, pegasus, peglarge models for automated text summarization over the CNN-DailyMail news dataset with regard to ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L, METEOR, BERTScore, and CHRF performance evaluation metrics are shown in Figure 1.

Figure 5. Comparison of the proposed DAMB with other models.

As shown in Figure 1, the proposed DAMB model obtained better results than other models with values of 0.405 ROUGE-1, 0.194 ROUGE-2, 0.305 ROUGE-L, 0.418 METEOR, 0.887 BERTScore, and 44.625 CHRF. In short, the proposed DAMB model achieved the best results in all performance metrics. On the other hand, the mbart model performed worse than other models in terms of values of 0.008 ROUGE-1, 0.000 ROUGE-2, 0.019 METEOR, and 0.508 CHRF. Furthermore, the bart model achieved a worse result than other models with a BERTScore of 0.741. Consequently, the proposed DAMB model has been confirmed to achieve significant results in the CNN-DailyMail news dataset.

4. GENERAL ASSESSMENT AND CONCLUSIONS

In this study, considering the heterogeneous nature of the text summarization problem, a multi-metric approach, the DAMB model, is proposed, in which the most suitable summarization model is dynamically selected for each document. The proposed DAMB model was compared in detail with the t5s, t5b, mt5, bart, mbart, pegasus, and peglarge models, as well as with the ROUGE-1, ROUGE-2, ROUGE-L, METEOR, BERTScore, and CHRF performance metrics. The results give that the proposed DAMB approach achieved better results than other approaches in automated text summarization. In conclusion, the proposed DAMB model was quite successful in summarizing news on the CNN-DailyMail dataset. In the next study, we plan to apply the proposed DAMB model to other similar datasets.

REFERENCE

Altundogan, T. G., Karakose, M., & Tanberk, S. (2024). Transformer Based Multimodal Summarization and Highlight Abstraction Approach for Texts and Speech Audios. *2024 28th International Conference on Information Technology (IT)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/IT61232.2024.10475775

Ay, B., Ertam, F., Fidan, G., & Aydin, G. (2023). Turkish abstractive text document summarization using text to text transfer transformer. *Alexandria Engineering Journal*, *68*, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.01.008

Banerjee, S., & Lavie, A. (2025). METEOR An Automatic Metric for MT Evaluation with Improved Correlation with Human Judgments.pdf. *In Proceedings of the Acl Workshop on Intrinsic and Extrinsic Evaluation Measures for Machine Translation and/or Summarization*, 65–72.

Bani-Almarjeh, M., & Kurdy, M. B. (2023). Arabic abstractive text summarization using RNN-based and transformer-based architectures. *Information Processing and Management*, *60*(2), 103227. https://doi.org/10.1016/j.ipm.2022.103227

Bharathi Mohan, G., Prasanna Kumar, R., Elakkiya, R., Siva Jyothi Natha Reddy, B., Anvitha, V., & Sulochana, V. (2023). Fine Tuning Pretrained Transformers for Abstractive News Summarization. *2023 International Conference on Evolutionary Algorithms and Soft Computing Techniques, EASCT 2023*, 1–5. https://doi.org/10.1109/EASCT59475.2023.10393603

Blekanov, I. S., Tarasov, N., & Bodrunova, S. S. (2022). Transformer-Based Abstractive Summarization for Reddit and Twitter: Single Posts vs. Comment Pools in Three Languages. *Future Internet*, *14*(3), 1–25. https://doi.org/10.3390/fi14030069

Choudhary, A., Alugubelly, M., & Bhargava, R. (2023). A Comparative Study on Transformer-based News Summarization. *Proceedings - International Conference on Developments in*

ESystems Engineering, DeSE, 2023-Janua, 256–261. https://doi.org/10.1109/DeSE58274.2023.10099798

Chouikhi, H., & Alsuhaibani, M. (2022). Deep Transformer Language Models for Arabic Text Summarization: A Comparison Study. *Applied Sciences (Switzerland), 12*(23). https://doi.org/10.3390/app122311944

Gupta, S., & Gupta, S. K. (2019). Abstractive summarization: An overview of the state of the art. *Expert Systems with Applications*, *121*, 49–65. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.011

Harivignesh, S., Avinash, S., Avinash, V., & Grace, R. K. (2022). Summarization of News Articles Using Transformers. *5th IEEE International Conference on Advances in Science and Technology, ICAST 2022*, 159–163. https://doi.org/10.1109/ICAST55766.2022.10039608

Hermann, K. M., Kocisky, T., Grefenstette, E., Espeholt, L., Kay, W., Suleyman, M., & Blunsom, P. (2015). Teaching Machines to Read and Comprehend. In C. Cortes, N. Lawrence, D. Lee, M. Sugiyama, & R. Garnett (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 28). Curran Associates, Inc. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2015/file/afdec7005cc9f14302cd0474fd0f3c96-Paper.pdf

Kale, A. R., & Deshmukh, P. R. (2024). Abstractive Text Summarization: A Transformer Based Approach. *2024 IEEE 9th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2024*, 1–4. https://doi.org/10.1109/I2CT61223.2024.10544120

Kotkar, A. D., Mahadik, R. S., More, P. G., & Thorat, S. A. (2024). Comparative Analysis of Transformer-based Large Language Models (LLMs) for Text Summarization. *2024 1st International Conference on Advanced Computing and Emerging Technologies, ACET 2024*, 1–7. https://doi.org/10.1109/ACET61898.2024.10730348

Lewis, M., Liu, Y., Goyal, N., Ghazvininejad, Marjan, Mohamed, Abdelrahman, Levy, O., Stoyanov, V., & Zettlemoyer, L. (2020). BART Denoising Sequence-to-Sequence Pre-training.pdf. *In Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 7871–7880.

Lin, C.-Y. (2004). Rouge: A package for automatic evaluation of summaries. In *Proceedings of the workshop on text summarization branches out (WAS 2004)* (pp. 74–81). papers2://publication/uuid/5DDA0BB8-E59F-44C1-88E6-2AD316DAEF85

Liu, Y., Gu, J., Goyal, N., Li, X., Edunov, S., Ghazvininejad, M., Lewis, M., & Zettlemoyer, L. (2020). Multilingual denoising pre-training for neural machine translation. In

Transactions of the Association for Computational Linguistics (Vol. 8, pp. 726–742). https://doi.org/10.1162/tacl_a_00343

Popović, M. (2015). Chrf: Character n-gram f-score for automatic mt evaluation. *In Proceedings of the Tenth Workshop on Statistical Machine Translation*, 392–395. https://doi.org/10.18653/v1/w15-3049

Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., Lee, K., Narang, S., Matena, M., Zhou, Y., Li, W., & Liu, P. J. (2020). Exploring the limits of transfer learning with a unified text-to-text transformer. In *Journal of Machine Learning Research* (Vol. 21).

See, A., Liu, P. J., & Manning, C. D. (2017). Get to the point: Summarization with pointer-generator networks. In *ACL 2017 - 55th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Proceedings of the Conference (Long Papers)* (Vol. 1, pp. 1073–1083). https://doi.org/10.18653/v1/P17-1099

Swetha, G., & Kumar, S. P. (2024). A hierarchical framework based on transformer technology to achieve factual consistent and non-redundant abstractive text summarization. *Multimedia Tools and Applications*, *83*(16), 47587–47608. https://doi.org/10.1007/s11042-023-17426-y

Syed, A. A., Gaol, F. L., & Matsuo, T. (2021). A Survey of the State-of-the-Art Models in Neural Abstractive Text Summarization. *IEEE Access*, *9*, 13248–13265. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3052783

Xue, L., Constant, N., Roberts, A., Kale, M., Al-Rfou, R., Siddhant, A., Barua, A., & Raffel, C. (2021). mT5 A Massively Multilingual Pre-trained Text-to-Text Transformer.pdf. *In Proceedings of the 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies*, 483–498.

Yogendra Prasad, P., Ramu, M., Sonta, M., Thunga, R. S., Shaik, M. S., & Shaik, M. (2025). Ensemble Medical Text Summarization Using PEGASUS And BART. *2025 International Conference on Knowledge Engineering and Communication Systems (ICKECS)*, 1–5. https://doi.org/10.1109/ICKECS65700.2025.11035606

Zhang, J., Zhao, Y., Saleh, M., & Liu, P. (2020). PEGASUS: Pre-training with Extracted Gap-sentences for Abstractive Summarization. In H. D. III & A. Singh (Eds.), *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning* (Vol. 119, pp. 11328–11339). PMLR. https://proceedings.mlr.press/v119/zhang20ae.html

Zhang, M., Zhou, G., Yu, W., Huang, N., & Liu, W. (2022). A Comprehensive Survey of Abstractive Text Summarization Based on Deep Learning. *Computational Intelligence and Neuroscience*, *2022*. https://doi.org/10.1155/2022/7132226

Zhang, T., Kishore, V., Wu, F., Q. Weinberger, K., & Artzi, Y. (2020). BERTScore Evaluating Text Generation with BERT. *ArXiv Preprint ArXiv:1904.09675*, 1–43.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE ISSUE OF UNDESIRABLE INPUT-OUTPUT IN DATA ENVELOPMENT ANALYSIS[1]

Dr. Öğr. Üyesi Leyla İŞBİLEN

İstanbul Üniversitesi

isbilen@istanbul.edu.tr- ORCID: 0000-0001-8648-7702

ABSTRACT

Data Envelopment Analysis (DEA) is a non-parametric method frequently favored for efficiency measurement, utilized to assess the efficiency of DMU'S (decision making units) that yield the same outputs with the same inputs. DEA models are linear programming (LP) problems in which the objective function is minimized or maximized subject to certain constraints. Although DEA has a very practical use due to its non-parametric structure, the main requirement of the method is that the inputs and outputs must always be positive. In DEA, negative inputs and outputs are called undesirable input-output. The undesirable input-output situation is not limited only to being negative. According to DEA, either inputs must be reduced or outputs must be increased (or both). However, there are situations where the output produced by a system should not be increased. For example, in a recycling process, waste is considered an input for this system. From the company's perspective, the more waste, the better, but from an environmental perspective, waste should not be a product that should be increased. In this study, hypothetical examples are provided regarding the methods presented in the literature for dealing with undesirable input-output situations in DEA (the data in the examples are fictional). The aim of this study is to demonstrate that various solution methods are possible, rather than abandoning the use of DEA in cases such as the presence of negative inputs and outputs, or where the placement of some inputs and outputs does not seem logically appropriate but is necessited by the production process.[2]

Keywords: DEA, efficiency measurement, undesirable input-output.

[1] This work is derived from the PhD Thesis of the author, Dr. Leyla İŞBİLEN, titled "Portföy Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi ile Ölçülmesi ve Portföy Etkinleştirilmesine Yönelik Bir Uygulama". YÖK Thesis number: 271039, Istanbul University Institute of Social Sciences, 2010.

[2] This study is derived from the thesis, but it is not a thesis summary. It is a study that utilizes applied examples to explain new solution proposals introduced to the literature in recent years concerning "undesirable input-undesirable output" a topic for which solution methods were quite limited (such as adding a scalar to ensure pozitive values for negative input- output) at the time of the Thesis's acceptance (2010).

REFERENCES

Bozdemir, M. K. E., Azkeskin, S. A., & Akman, G. (2024). Environmental efficiency analysis to ranking system for all units with undesirable input/output in DEA. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *39*(4), 2435–2445. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1283649

Chung, Y. H., Färe, R., & Grosskopf, S. (1997). Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach. *Journal of Environmental Management*, *51*(3), 229–240. https://doi.org/10.1006/jema.1997.0146

Iqbal Ali, A., & Seiford, L. M. (1990). Translation invariance in data envelopment analysis. *Operations Research Letters*, *9*(6), 403–405. https://doi.org/10.1016/0167-6377(90)90061-9

İşbilen Yücel, L. (2010). *Portföy Etkinliğinin Veri Zarflama Analizi İle Ölçülmesi ve Portföy Etkinleştirilmesine Yönelik Bir Uygulama*. İstanbul Üniversitesi.

Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., Shoja, N., Tohidi, G., & Razavyan, S. (2005). Undesirable inputs and outputs in DEA models. *Applied Mathematics and Computation*, *169*(2), 917–925. https://doi.org/10.1016/j.amc.2004.09.069

Kao, C., & Hwang, S. N. (2023). Separating the effect of undesirable outputs generation from the inefficiency of desirable outputs production in efficiency measurement. *European Journal of Operational Research*, *311*(3), 1097–1102. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.06.012

Knox Lovell, C. A., Pastor, J. T., & Turner, J. A. (1995). Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries. *European Journal of Operational Research*, *87*(3), 507–518. https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00226-X

Maghbouli, M., & Yekta, A. P. (2023). Undesirable Input in Production Process: A DEA-Based Approach. *Journal of Operational and Strategic Analytics*, *1*(2), 46–54. https://doi.org/10.56578/josa010201

Natalia, K., Halkos, G., & Natalia Petrou, K. (2018). *Munich Personal RePEc Archive A critical review of the main methods to treat undesirable outputs in DEA A critical review of the main methods to treat undesirable outputs in DEA.*

Seiford, L. M., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, *142*(1), 16–20. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00293-4

Sezer, F. (2017). ANALYSIS OF EFFICIENCY IN THE MANUFACTURE OF. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, *13*(4), 737–750.

Tarı, R., & Sezer, F. (2017). İstenen v e İstenmeyen Çıktılarla Etkinlik Analizi : Kocaeli Gıda Sanayii. *KOSBED*, *34*, 1–18.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CRYPTOCURRENCIES, EQUITIES AND GOLD: DIVERSIFICATION POTENTIAL AND RISK–RETURN TRADE-OFFS IN SIMPLE MIXED PORTFOLIOS

Dr. Öğretim Üyesi Çağlar SÖZEN
Giresun Üniversitesi,
caglar.sozen@giresun.edu.tr - 0000-0002-3732-5058

ABSTRACT

We investigate the role of major cryptocurrencies in mixed equity–gold portfolios using daily data for Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), the S&P 500, and gold (GLD) from January 2018 to December 2024. We first document basic distributional properties of daily log returns and show that BTC and ETH exhibit very high volatility and pronounced excess kurtosis, while all assets display negative skewness. Average correlations between cryptocurrencies and the S&P 500 are modestly positive but highly time-varying: 60-day rolling correlations frequently shift from slightly negative to strongly positive values. The correlation between BTC and gold is weaker and sometimes negative, indicating residual diversification potential. We then analyse portfolio implications using simple static allocations. A traditional 60/40 S&P 500–gold portfolio is compared with portfolios that add 10% BTC and, subsequently, 10% ETH. A modest BTC allocation raises the annualised mean return from about 10.5% to 12.1% with only a moderate increase in volatility, leaving the Sharpe ratio virtually unchanged. Adding ETH increases expected returns further but entails a sizeable rise in risk and a lower Sharpe ratio. Random four-asset portfolios confirm that BTC and ETH extend the efficient frontier towards higher risk–return combinations. Overall, cryptocurrencies can enhance long-run portfolio performance, but only at the cost of substantially higher interim drawdowns and tail risk.

Keywords : Bitcoin; Ethereum; portfolio diversification; rolling correlations; efficient frontier; equities; gold; cryptoassets.

1. Introduction

The rapid growth of cryptocurrency markets has renewed interest in their potential role within traditional portfolios that combine equities with safe-haven assets such as gold. Since the introduction of Bitcoin futures and the increasing institutional adoption of digital assets, a central question for investors and regulators is whether cryptocurrencies behave as purely

speculative instruments or whether they provide meaningful hedging or diversification benefits relative to stocks, bonds, and commodities.

A large empirical literature has examined the statistical properties and portfolio implications of Bitcoin and other cryptoassets. Early studies document extreme volatility, heavy tails, and strong departures from normality in Bitcoin returns (Dyhrberg, 2016; Katsiampa, 2017). Several contributions analyse whether Bitcoin acts as a hedge, a diversifier, or a safe haven vis-à-vis traditional assets such as equities, bonds, and gold, often reaching mixed conclusions (Baur and Lucey, 2010; Bouri et al., 2017; Dyhrberg, 2016; Baur et al., 2018). Other work investigates the dynamic relationships and spillovers between cryptocurrencies and conventional financial markets, emphasising time-varying correlations and network structures (Corbet et al., 2018; Ji et al., 2018; Ji et al., 2019). From a portfolio perspective, Symitsi and Chalvatzis (2019) and Platanakis and Urquhart (2019) assess whether small allocations to Bitcoin can improve risk–return profiles when combined with currencies, commodities, or equity indices such as the S&P 500.

This paper contributes to the literature by providing a focused and transparent assessment of the diversification potential of Bitcoin and Ethereum in simple equity–gold portfolios over the period 2018–2024. Rather than relying on complex econometric models or high-frequency data, we deliberately use simple and easily reproducible tools: descriptive statistics, rolling correlations, and static mean–variance portfolios. Our empirical evidence—summarised in Tables 1–4 and Figures 1–3—addresses three main questions:

1. How do the unconditional distributional properties of BTC and ETH returns compare with those of the S&P 500 and gold?

2. How stable are the correlations between cryptocurrencies, equities, and gold over time?

3. What are the risk–return implications of allocating a modest share of a traditional equity–gold portfolio to BTC and ETH?

Using daily data for Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), the S&P 500, and the GLD gold ETF, we document very high volatility and pronounced excess kurtosis for BTC and ETH, together with persistent negative skewness across all assets. Average correlations between cryptocurrencies and the S&P 500 are modestly positive, but 60-day rolling correlations (Figure 1) exhibit substantial time variation, alternating between low or even negative values and

episodes of tight co-movement. The correlation between BTC and gold is weaker and occasionally negative, suggesting residual diversification potential.

On the portfolio side, we compare a traditional 60/40 S&P 500–gold allocation with two crypto-enhanced portfolios that add a 10% allocation to BTC and, subsequently, a 10% allocation to ETH. We also generate random four-asset portfolios to visualise the feasible set in risk–return space. The results indicate that a modest BTC allocation increases annualised returns with only limited deterioration in risk-adjusted performance, whereas adding ETH produces a more speculative profile characterised by substantially higher volatility and a lower Sharpe ratio. Cumulative wealth paths make this risk–return trade-off particularly transparent.

The remainder of the paper is organised as follows. Section 2 describes the data and methodology. Section 3 presents the empirical results, including distributional properties, time-varying correlations, and portfolio analysis. Section 4 concludes with implications and possible extensions.

2. Data and Methodology

2.1 Data

We obtain daily closing prices from Yahoo Finance for four assets (Yahoo Finance, 2025): Bitcoin (BTC–USD), Ethereum (ETH–USD), the S&P 500 index (GSPC), and the SPDR Gold Shares ETF (GLD). The sample covers the period from 1 January 2018 to 31 December 2024. Let $P_{i,t}$ denote the closing price of asset $i$on trading day t. We compute daily log returns as

$$r_{i,t} = \log(P_{i,t}) - \log(P_{i,t-1}).$$

Because trading calendars differ across assets (cryptocurrencies trade seven days a week, whereas equities and GLD trade only on business days), we merge the return series by calendar date and retain only those dates for which returns are available for all four assets. This yields a common business-day sample and removes cryptocurrency observations that occur only on weekends. All summary statistics, correlations, and portfolio calculations are based on this aligned sample.

2.2 Descriptive statistics and correlations

We begin by documenting basic distributional properties of the daily log returns. For each asset, we report the sample mean, standard deviation, skewness and excess kurtosis. To facilitate

economic interpretation, we also annualise the mean and standard deviation under the conventional assumption of 252 trading days per year:

$$\mu_i^{\text{ann}} = 252 \times \bar{r}_i, \quad \sigma_i^{\text{ann}} = \sqrt{252} \times s_i,$$

where $\bar{r}_i$ and s_i denote the sample mean and standard deviation of returns for asset i.

Table 1 presents the resulting summary statistics. Already at this stage, we see that BTC and ETH have much higher annualised volatility and stronger tail behaviour than the S&P 500 and gold, while equities still exhibit considerable excess kurtosis.

Table 1. Summary statistics for daily log returns

Asset	Mean (daily)	SD (daily)	Mean (annualised)	SD (annualised)	Skewness	Excess kurtosis
BTC	0.001036	0.043039	0.261011	0.683223	-0.929057	10.903936
ETH	0.000758	0.055470	0.191065	0.880562	-0.731671	9.360067
SP500	0.000446	0.012476	0.112380	0.198045	-0.816113	14.414906
GLD	0.000372	0.009029	0.093658	0.143328	-0.308933	2.936728

Next, we compute the unconditional Pearson correlation matrix for the daily returns. This provides a first view on the average co-movement between cryptocurrencies, the S&P 500 and gold over the full sample. The correlation matrix is reported in Table 2.

Table 2. Correlation matrix of daily log returns

Asset	BTC	ETH	SP500	GLD
BTC	1.00	0.81	0.29	0.13
ETH	0.81	1.00	0.31	0.12
SP500	0.29	0.31	1.00	0.11
GLD	0.13	0.12	0.11	1.00

Table 2 shows very high correlation between BTC and ETH, modest positive correlations between cryptocurrencies and the S&P 500, and low correlations with GLD, suggesting potential diversification benefits.

2.3 Rolling correlations

Unconditional correlations may mask important time variation, especially in turbulent markets. To study this, we construct 60-day rolling correlations for selected pairs: BTC – S&P 500, ETH–S&P 500 and BTC–GLD. For each pair (i, j), the rolling correlation at date t is computed as the sample correlation of $r_{i,t-59}, \dots, r_{i,t}$ and $r_{j,t-59}, \dots, r_{j,t}$. These rolling correlations are plotted over time in Figure 1, providing a dynamic view of how co-movement evolves across

the sample. To summarise their behaviour numerically, we also compute the mean, standard deviation, minimum and maximum of each rolling-correlation series. These statistics are reported in Table 3.

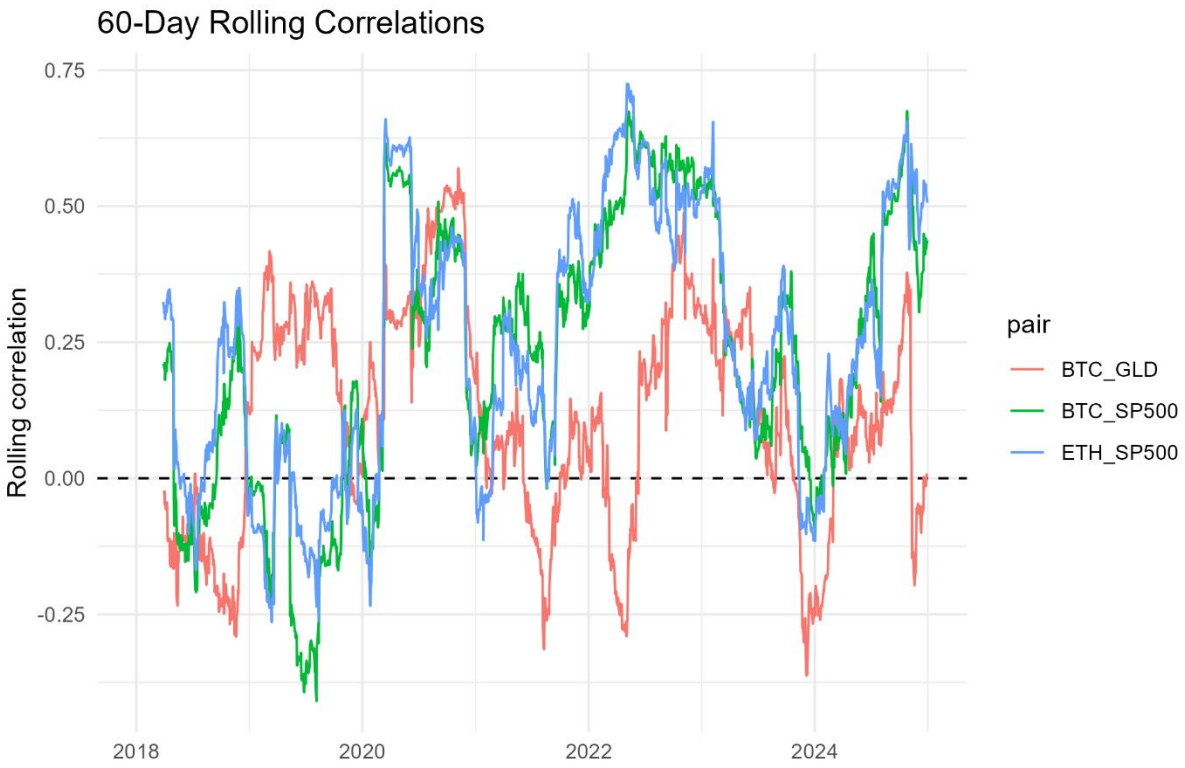


Figure 1. 60-day rolling correlations between Bitcoin, Ethereum, the S&P 500 and gold

Table 3. Summary statistics for 60-day rolling correlations

Pair	Mean rolling corr	SD rolling corr	Minimum	Maximum
BTC-SP500	0.23	0.25	-0.41	0.67
BTC-GLD	0.11	0.20	-0.36	0.57
ETH-SP500	0.24	0.24	-0.26	0.73

Figure 1 and Table 3 together show that correlations are on average modestly positive but highly time-varying, with episodes of negative comovement and periods of very strong positive comovement, especially between cryptocurrencies and the S&P 500.

2.4 Portfolio construction and evaluation

To assess the portfolio implications of crypto allocations, we consider three simple static portfolios built from BTC, ETH, the S&P 500 and GLD. Let w denote the vector of portfolio weights, with elements summing to one. For each portfolio, daily portfolio returns are

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

computed as
$r_{p,t} = \sum_i w_i r_{i,t}$.

We then obtain annualised mean return and volatility as
$\mu_p^{\text{ann}} = 252 \times \bar{r}_p$,
$\sigma_p^{\text{ann}} = \sqrt{252} \times s_p$,
where $\bar{r}_p$ and s_p are the sample mean and standard deviation of portfolio returns. Assuming a zero risk-free rate for simplicity, the annualised Sharpe ratio is $\text{SR}_p = \mu_p^{\text{ann}} / \sigma_p^{\text{ann}}$.

The three portfolios are defined as follows:

- **P1 (Traditional)**: 60% S&P 500 and 40% GLD (no cryptocurrency exposure).
- **P2 (With BTC)**: 55% S&P 500, 35% GLD and 10% BTC.
- **P3 (With BTC and ETH)**: 50% S&P 500, 30% GLD, 10% BTC and 10% ETH.

Table 4 presents the annualised return, volatility and Sharpe ratio of these three portfolios.

Table 4. Annualised return, volatility and Sharpe ratio of the three portfolios

Portfolio	Annualised return	Annualised SD	Sharpe ratio
P1 (Traditional)	0.104891	0.13751	0.762801
P2 (With BTC)	0.12069	0.15952	0.75657
P3 (With BTC and ETH)	0.129495	0.21408	0.604897

To visualise long-run performance in levels, we construct cumulative wealth paths for each portfolio. Setting an initial value $V_{p,0} = 1$ and updating via $V_{p,t} = V_{p,t-1}\exp(r_{p,t})$, we obtain a time series of cumulative wealth for each of P1, P2 and P3. These are plotted in Figure 2.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

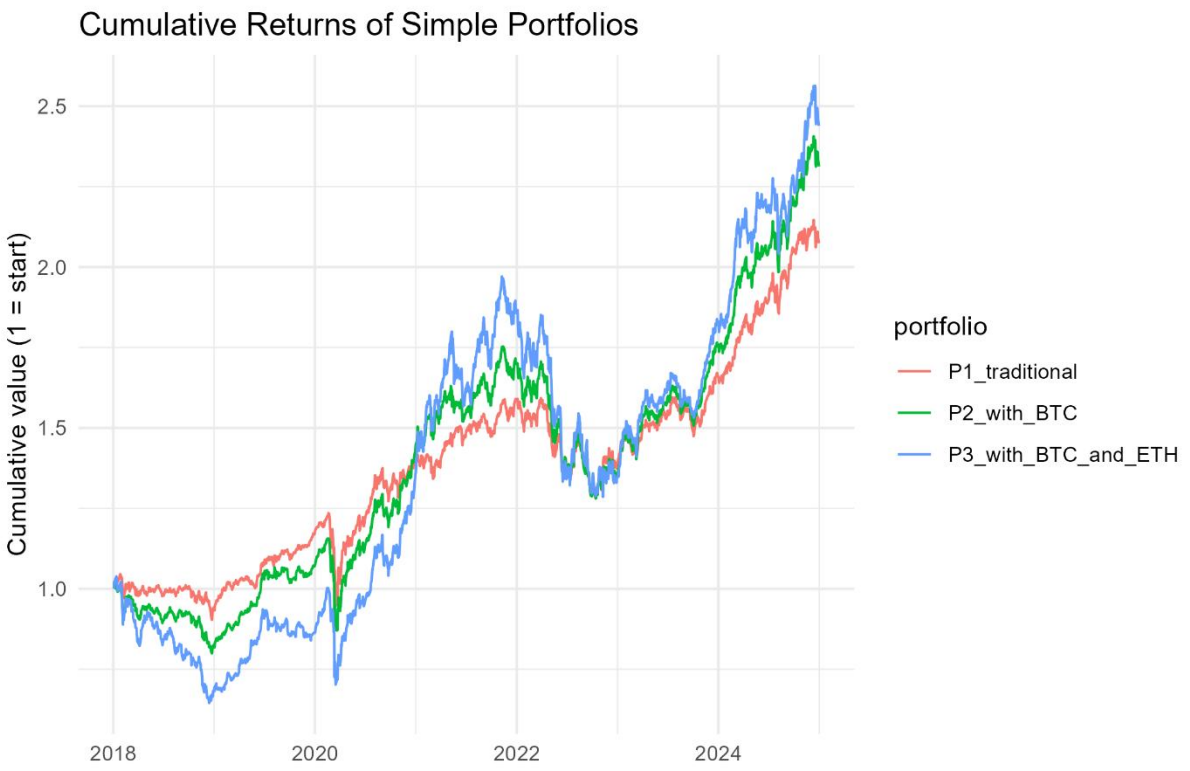


Figure 2. Cumulative returns of three simple buy-and-hold portfolios

Finally, to illustrate the feasible risk–return trade-off for combinations of BTC, ETH, the S&P 500 and GLD, we generate a large number of random fully-invested long-only portfolios. For each draw, we simulate non-negative weights and normalise them to sum to one. The annualised mean and volatility of each random portfolio are plotted in the mean–standard deviation plane. The resulting point cloud provides an approximate view of the effective frontier. Figure 3 shows this scatter plot and highlights how crypto allocations affect the opportunity set.

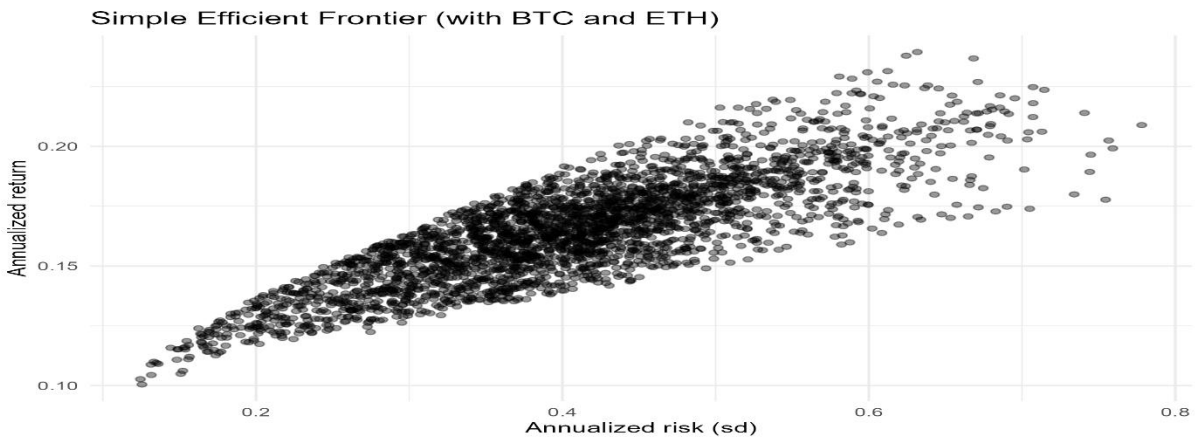


Figure 3. Random long-only portfolios combining BTC, ETH, the S&P 500 and gold in the mean–standard deviation space

3. Empirical Results

3.1 Distributional properties

Table 1 summarises the unconditional distributional properties of daily log returns. Bitcoin and Ethereum exhibit very high annualised volatility, approximately 68% for BTC and 88% for ETH, markedly exceeding the volatility levels of the S&P 500, and gold. All assets display negative skewness, indicating a tendency for large negative daily moves.

Excess kurtosis is pronounced for the two cryptocurrencies and also non-negligible for equities and gold, confirming the heavy-tailed nature of return distributions over 2018–2024. BTC and ETH feature the highest kurtosis values, consistent with the well-documented presence of large spikes and crashes in crypto markets. Annualised mean returns are highest for BTC and ETH, followed by the S&P 500 and gold. This ordering is broadly in line with a risk–return trade-off, but the scale of volatility suggests that the compensation per unit of risk is not necessarily superior for cryptocurrencies.

Taken together, Table 1 provides a first indication that cryptocurrencies behave more like high-risk, high-return speculative assets than classical safe havens. Any diversification role must therefore arise from correlation patterns rather than from low volatility.

3.2 Unconditional and time-varying correlations

Table 2 reports the unconditional correlation matrix of daily returns. The correlation between BTC and ETH is very high (about 0.81), reflecting their shared exposure to crypto-specific factors. The BTC–S&P 500 correlation is modestly positive (about 0.29), and the ETH–S&P 500 correlation is similar (about 0.31). Correlations with gold are lower in magnitude: BTC–GLD is about 0.13 and S&P 500–GLD is about 0.11.

However, the rolling-correlation analysis in Figure 1 and the statistics in Table 3 show that these unconditional averages mask substantial time variation. The 60-day correlation between BTC and the S&P 500 fluctuates widely, occasionally dipping into negative territory and reaching values above 0.6 in some periods. ETH–S&P 500 displays a similar pattern, while BTC–GLD correlations are weaker and more erratic, with several negative phases.

Table 3 further indicates that mean rolling correlations are modestly positive for all three pairs, but the standard deviations and ranges are large. For instance, BTC–S&P 500 rolling

correlations vary from roughly −0.41 to 0.67, ETH–S&P 500 correlations range from −0.26 to 0.73, and BTC–GLD correlations range from −0.36 to 0.57 (with an average close to 0.11).

Overall, these results suggest that the diversification properties of cryptocurrencies against the S&P 500 and gold are strongly state-dependent. There are episodes in which cryptocurrencies behave as relatively independent (or even diversifying) assets, as well as periods of tight co-movement with equity markets. In particular, during episodes of elevated market stress, co-movement across risky assets may strengthen, weakening diversification benefits precisely when they are most needed.

3.3 Portfolio performance and efficient frontier

Table 4 reports annualised performance statistics for the three static portfolios. The traditional benchmark, P1 (60% S&P 500 and 40% GLD), delivers an annualised return of about 10.5% with volatility around 13.8%, implying a Sharpe ratio close to 0.76. This portfolio represents a simple mix of a risky equity component and a defensive gold allocation.

Adding a modest 10% allocation to BTC (P2: 55% S&P 500, 35% GLD, 10% BTC) increases the annualised return to roughly 12.1% while raising volatility only moderately to about 16.0%. The Sharpe ratio remains essentially unchanged (≈ 0.76), indicating that the higher expected performance is broadly proportional to the additional risk. In this sense, a small BTC position can improve long-run returns without materially deteriorating risk-adjusted performance.

By contrast, P3 (50% S&P 500, 30% GLD, 10% BTC, 10% ETH) achieves an annualised return of roughly 13.0%, but volatility rises substantially to above 21%. As a result, the Sharpe ratio falls to approximately 0.60, reflecting a weaker risk–return trade-off. Overall, while a limited BTC allocation appears compatible with the traditional equity–gold benchmark, a simultaneous and larger exposure to both BTC and ETH shifts the portfolio towards a more speculative risk profile.

The cumulative wealth paths in Figure 2 provide an intuitive complement to these summary statistics. Although all three portfolios end the sample above their initial value, the crypto-enhanced portfolios experience noticeably deeper interim drawdowns. During major crypto downturns, P2—and especially P3—falls below the traditional benchmark before recovering in subsequent rallies. This highlights the behavioural challenge of crypto allocations: capturing higher long-run returns may require tolerating substantial interim losses and elevated tail risk.

Finally, Figure 3 visualises the opportunity set generated by random long-only portfolios over the four assets (BTC, ETH, S&P 500, GLD) in the mean–standard deviation plane. The point cloud traces an approximate efficient set, ranging from low-risk, moderate-return portfolios dominated by equities and gold to high-risk, high-return portfolios with larger crypto weights. The three benchmark portfolios lie on or near this feasible set. The figure also shows that BTC and ETH expand the attainable risk–return region, particularly on the high-risk side; however, the frontier becomes relatively flat in that area, suggesting diminishing increases in expected return for additional increments of risk.

3.4 Discussion

Taken together, the evidence from Tables 1–4 and Figures 1–3 supports a nuanced assessment of cryptocurrencies as portfolio ingredients. On the one hand, BTC and ETH exhibit relatively high average returns and can improve the long-run performance of mixed portfolios, particularly in periods when their correlations with equities and gold remain modest. On the other hand, their heavy-tailed return distributions, negative skewness, and time-varying co-movement with traditional assets imply substantial tail risk and the potential for large interim drawdowns. From a strategic standpoint, a limited BTC allocation may be justifiable for investors with sufficient risk tolerance, especially when expected returns on traditional assets are constrained. In contrast, additional exposure to ETH appears more appropriate for speculative allocations rather than as a core holding, as it moves the portfolio into a markedly more volatile region with weaker risk-adjusted performance. For practitioners, these results underline the importance of position sizing and risk management. Crypto allocations should be calibrated relative to the overall risk budget and accompanied by close monitoring of market conditions, particularly during periods of elevated volatility and correlation spikes across risky assets.

4. Conclusion

This paper has examined the diversification potential and risk–return trade-offs of including Bitcoin and Ethereum in simple equity–gold portfolios over 2018–2024, using daily data for BTC, ETH, the S&P 500, and gold (GLD). Three main findings emerge.

First, BTC and ETH display very high volatility and pronounced excess kurtosis relative to traditional assets, while all assets exhibit negative skewness. This confirms that cryptocurrencies are high-risk assets with strongly non-normal return distributions.

Second, unconditional correlations between cryptocurrencies and the S&P 500 are modestly positive on average, but 60-day rolling correlations are highly time-varying and occasionally negative. Correlations between BTC and gold are weaker and sometimes negative, indicating residual diversification potential. However, these benefits are fragile and depend on the market environment.

Third, adding a modest 10% BTC allocation to a traditional 60/40 equity–gold portfolio increases annualised returns with only a moderate increase in volatility, leaving the Sharpe ratio virtually unchanged. By contrast, adding an additional 10% allocation to ETH further raises expected returns but entails a sizeable rise in risk and a lower Sharpe ratio. In line with these results, the cumulative-wealth analysis indicates that crypto-enhanced portfolios tend to experience deeper interim drawdowns and greater tail risk.

Overall, cryptocurrencies can enhance long-run portfolio performance, but they should be viewed as high-risk, high-return components whose diversification benefits are conditional and state-dependent. Future research could extend the analysis to other digital assets, incorporate downside-risk measures such as Value-at-Risk and expected shortfall, or explore dynamic allocation strategies that adjust crypto weights in response to macro-financial conditions and volatility regimes.

References

Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets?. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, *54*, 177-189.

Baur, D. G., & Lucey, B. M. (2010). Is gold a hedge or a safe haven? An analysis of stocks, bonds and gold. *Financial review*, *45*(2), 217-229.

Bouri, E., Molnár, P., Azzi, G., Roubaud, D., & Hagfors, L. I. (2017). On the hedge and safe haven properties of Bitcoin: Is it really more than a diversifier?. *Finance Research Letters*, *20*, 192-198.

Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics letters*, *165*, 28-34.

Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar–A GARCH volatility analysis. *Finance research letters*, *16*, 85-92.

Ji, Q., Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2018). Network causality structures among Bitcoin and other financial assets: A directed acyclic graph approach. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, *70*, 203-213.

Ji, Q., Bouri, E., Lau, C. K. M., & Roubaud, D. (2019). Dynamic connectedness and integration in cryptocurrency markets. *International Review of Financial Analysis*, *63*, 257-272.

Katsiampa, P. (2017). Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models. *Economics letters*, *158*, 3-6.

Platanakis, E., & Urquhart, A. (2019). Portfolio management with cryptocurrencies: The role of estimation risk. *Economics Letters*, *177*, 76-80.

Symitsi, E., & Chalvatzis, K. J. (2019). The economic value of Bitcoin: A portfolio analysis of currencies, gold, oil and stocks. *Research in International Business and Finance*, *48*, 97-110.

Yahoo Finance. (2025). Historical market data for financial assets. Retrieved from https://finance.yahoo.com.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ANALYTICAL SOLUTIONS TO FRACTIONAL ORDER INITIAL VALUE PROBLEMS

Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA
Kocaeli University,
suleyman.cetinkaya@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-8214-5099
Prof. Dr. Ali DEMIR
Kocaeli University,
ademir@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-3425-1812

ABSTRACT

The primary aim of this work is to investigate and solve time fractional differential equations, which are nonlinear (NTFDEs). In the solution processes, the Laplace transform is used with an iterative method, which is called the Laplace iterative method. In order to convert NTFDE into a simpler one, the Laplace and inverse Laplace transforms are employed successively. At this stage, the utilization of the Daftardar-Gejji iteration method yields a semi-analytical or analytical solution to the problem. The novelty of the current work is that the proposed method gives rise to solutions that are convergent and have a lower computational cost. An elucidated example is presented to demonstrate how to implement the proposed method and to confirm the obtained results.

Keywords: Caputo Derivative, Daftardar-Gejji iteration method, Laplace Transform, Nonlinear Time Fractional Differential Equations

1. INTRODUCTION

Having memory effects, as well as hereditary properties of fractional derivatives, makes fractional differential equations a significant key in the modeling of scientific processes. Therefore, scientists from various areas of science utilize fractional differential equations in diverse applications such as population dynamics, fluid motion, groundwater flow, and quantum mechanics [1]. Moreover, the definitions of various distinct fractional derivatives have been given and classified according to the physical context [2]. Compared to classical differential equations, fractional differential equations lead to better analysis of scientific problems by providing a wider perspective.

In order to obtain numerical or analytical solutions of NFTDE, various iterative approaches such as the Green-Picard iteration technique [5], the variational iteration method (VIM) [3], the subdivision approach [4], etc., have been developed and employed. They provide successive approximations converging to classical solutions when the fractional order tends to an integer order. Moreover, these approaches have computational efficiency, as well as high accuracy. The features of these methods make them suitable for use in a wide range of problems, from ordinary differential equations to fractional differential equations, such as fractional diffusion and the Navier-Stokes equations, due to their great potential to solve complex systems. The stability and convergence of these methods imply that they have various applications for future research

Various hybrid methods, including an integral transformation with an iterative method, have been developed and utilized to obtain highly accurate solutions with low computational cost. Featured hybrid methods, making substantial contributions, can be listed as the Laplace Residual Power Series Algorithm [10], the Fractional Laplace Differential Transform Method [7], the Discrete Transform Method combined with the Adomian Decomposition Method [11], the Laplace-Composition Method [9], the Variational Iterative Laplace Transform Technique [8], etc.. However, various difficulties have been encountered when these hybrid methods are used. As a result, these methods have been improved to get over these challenges, which provides new directions for future research.

The primary aim of this research is to acquire semi-analytical or analytical solutions for NTFDEs by means of a hybrid method, LIM.

The organization of this research is planned as follows: fundamental definitions in fractional calculus and the Laplace transform are presented in Section 2. The implementation of LIM for NTFDEs is explained in Section 3. Section 4 provides an example, including a biological population model in terms of a fractional differential equation. In the final section, the resulting outcomes have been given briefly.

2. PRELIMINARY RESULTS

This section provides a summary outline of the basic principles, mathematical formulations, and characteristic features of fractional calculus [12] [13].

Definition: The Riemann-Liouville fractional integral operator is defined for a function $\mu(\zeta)$ as

$$I_{\zeta}^{\alpha}\mu(\zeta) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)}\int_0^{\zeta}(\zeta - s)^{\alpha-1}\mu(s)ds,$$

where $\alpha > 0$ represents the fractional order of the integral.

Definition: The fractional derivative of order $\alpha > 0$ in the Liouville-Caputo sense is defined for the function $\mu(\zeta)$ with $n = \lceil\alpha\rceil$ by the following integral formulation:

$$D_{\zeta}^{\alpha}\mu(\zeta) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)}\int_{\zeta_0}^{\zeta}(\zeta - s)^{n-\alpha-1}\mu^{(n)}(s)ds\,, \zeta \in [\zeta_0, \zeta_0 + \mathrm{T}],$$

Here, $\mu^{(n)}(\zeta) = \frac{d^n\mu}{d\tau^n}$ represents the classical n^{th} order derivative of the function μ. When the parameter α takes an integer value, this definition of the fractional derivative completely coincides with the standard full-order derivative.

Definition: The Liouville-Caputo fractional derivative of a function $\mu(\zeta)$ of order α is expressed by the following integral formula for the parameter interval $0 < \alpha < 1$:

$$D_{\zeta}^{\alpha}\mu(\zeta) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)}\int_{\zeta_0}^{\zeta}(\zeta - s)^{-\alpha}\mu'(s)ds\,, \zeta \in [\zeta_0, \zeta_0 + \mathrm{T}],$$

In this notation, $\mu'(s)$ represents the first-order ordinary derivative of the function.

Definition: The two-parameter Mittag-Leffler function is defined by the following power series expansion with parameters $\alpha > 0, \beta > 0$, and $\lambda \in \mathbb{R}$ [14]:

$$E_{\alpha,\beta}(\lambda(t - t_0)^{\alpha}) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{(\lambda(t-t_0)^{\alpha})^k}{\Gamma(\alpha k+\beta)}, \alpha, \beta > 0, \lambda \in \mathbb{R}.$$

For the special case of $t_0 = 0$ and $\alpha = \beta = \mathrm{q}$, this definition takes the form

$$E_{q,\mathrm{q}}(\lambda t^q) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{(\lambda t^q)^k}{\Gamma(\alpha k+\beta)}, \tag{1}$$

where $q > 0$. When the value $q = 1$ is considered in Equation (1), it is seen that the function reduces to the exponential function $\left(E_{1,1}(\lambda t) = e^{\lambda t}\right)$. Those who want to learn more about the subject can refer to the source [14]. The functions given below are used to obtain the solution of the main problem addressed in this study.

The Laplace transform of a function $f(t)$ is defined for the set of functions satisfying the following conditions:

$$\{f(t)|\ \exists M, \tau_1, \tau_2 > 0,\ \ such\ that\ |f(x,t)| < Me^{|t|/\tau_j}\ \ if\ t \in (-1)^j \times [0,\infty)\}.$$

This transform is given by the integral

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(\omega) = \int_0^\infty e^{-\omega t} f(t)dt.$$

A fundamental property of this transform is that

$$\mathcal{L}\left[\frac{t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha+1)}\right] = \frac{1}{\omega^{n\alpha+1}}, \alpha > 0.$$

The inverse Laplace transform of this expression is found as

$$\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{\omega^{n\alpha+1}}\right] = \frac{t^{n\alpha}}{\Gamma(n\alpha+1)}, Re(\alpha) > 0,$$

where $n > 0$ [12, 13].

The Laplace transform of the fractional derivative of a function $f(x,t)$ with respect to time in the Liouville-Caputo sense is expressed by the following formula [12] [13]:

$$\mathcal{L}\left[\frac{\partial^\alpha f(x,t)}{\partial t^\alpha}\right] = \omega^\alpha \mathcal{L}[f(x,t)] - \sum_{k=0}^{n-1}\left[\omega^{\alpha-k-1}\frac{\partial^k f(x,0)}{\partial t^k}\right], n-1 < \alpha \le n, n \in \mathbb{N}.$$

3. MAIN RESULTS

This section explains how to apply the Laplace Iterative Method (LIM) to the solution of nonlinear fractional partial differential equations given initial conditions. The following nonlinear fractional initial value problem is considered:

$$ {}_0^C D_\zeta^\alpha\big(\mu(\eta,\theta,\zeta)\big) + R\mu(\eta,\theta,\zeta) + N\mu(\eta,\theta,\zeta) = g(\eta,\theta,\zeta), m-1 < \alpha \le m, m \in \mathbb{N}, \qquad (2)$$
$$\frac{\partial^k}{\partial \zeta^k}\mu(\eta,\theta,0) = h_k(\eta,\theta), k = 0,1,2,\dots,m-1.$$

Here, ${}_0^C D_\zeta^\alpha\big(\mu(\eta,\theta,\zeta)\big)$ represents the fractional derivative operator $\mu(\eta,\theta,\zeta)$, R the linear differential operator, N the nonlinear term, and $g(\eta,\theta,\zeta)$ the source function. To solve the problem via the Laplace transform, the function $\mu(\eta,\theta,\zeta)$ must be m times continuously

differentiable with respect to the variable ζ. In other words, the $\mu(\eta,\theta,\zeta)$ must be defined on the Banach space $W_2^m[0,\mathrm{T}]$ and expressed as follows:

$$W_2^m[0,\mathrm{T}] = \left\{\mu = \mu(.,.,\zeta): \mu, \mu^{(1)}, \ldots, \mu^{(m-1)} \in AC[0,\mathrm{T}]\right\}.$$

Without limiting generality, assuming $\mu = \mu(\eta,\theta,\zeta)$, applying the Laplace transform operator to Equation (2) yields the following expression:

$$\mathcal{L}\left[{}_0^C D_\zeta^\alpha \mu\right](s) + \mathcal{L}[R\mu + N\mu](s) = \mathcal{L}[g(\eta,\theta,\zeta)](s).$$

Using the relevant properties of the Laplace transform, this expression can be modified as:

$$\mathcal{L}[\mu](s) = \frac{1}{s^\alpha}\sum_{k=0}^{m-1}\frac{\partial^k}{\partial\zeta^k}\mu(\eta,\theta,0)s^{\alpha-k-1} - \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[R\mu + N\mu](s) + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}[g(\eta,\theta,\zeta)](s).$$

Then, by applying the inverse Laplace transform, the solution is expressed as

$$\mu = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\left[\sum_{k=0}^{m-1}\frac{\partial^k}{\partial\zeta^k}\mu(\eta,\theta,0)s^{\alpha-k-1} + \mathcal{L}[g(\eta,\theta,\zeta)](s)\right]\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}[\mathcal{L}[R\mu + N\mu](s)]\right]. \quad (3)$$

As a result of the iterative solution approach, the solution function has an infinite series expansion of the form

$$\mu = \sum_{i=0}^{\infty}\mu_i. \quad (4)$$

The additivity property of the linear operator R can be expressed as

$$R\left(\sum_{i=0}^{\infty}\mu_i\right) = \sum_{i=0}^{\infty}R(\mu_i), \quad (5)$$

while the nonlinear operator N can be decomposed as

$$N\left(\sum_{i=0}^{\infty}\mu_i\right) = N(\mu_0) + \sum_{i=0}^{\infty}\left\{N\left(\sum_{k=0}^{i}\mu_k\right) - N\left(\sum_{k=0}^{i-1}\mu_k\right)\right\}. \quad (6)$$

Substituting the expressions given in Equations (4), (5), and (6) into Equation (3), we obtain:

$$\sum_{i=0}^{\infty}\mu_i = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\left[\sum_{k=0}^{m-1}\frac{\partial^k}{\partial\zeta^k}\mu(\eta,\theta,0)s^{\alpha-k-1} + \mathcal{L}[g(\eta,\theta,\zeta)](s)\right]\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\left[\mathcal{L}\left[R(\mu_i) + N(\mu_0) + \sum_{i=1}^{\infty}\left\{N\left(\sum_{k=0}^{i}\mu_k\right) - N\left(\sum_{k=0}^{i-1}\mu_k\right)\right\}\right](s)\right]\right].$$

The iterative solution scheme is derived by the following recursion relations:

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$\mu_0 = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\left[\sum_{k=0}^{m-1}\frac{\partial^k}{\partial\zeta^k}\mu(\eta,\theta,0)s^{\alpha-k-1} + \mathcal{L}[g(\eta,\theta,\zeta)](s)\right]\right],$$

$$\mu_1 = -\mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}[\mathcal{L}[R(\mu_0) + N(\mu_0)](s)]\right],$$

$$\mu_{m+1} = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}[\mathcal{L}[R(\mu_m) - \{N(\sum_{k=0}^{m}\mu_k) - N(\sum_{k=0}^{m-1}\mu_k)\}](s)]\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}[\mathcal{L}[R(\mu_{m-1}) - \{N(\sum_{k=0}^{m-1}\mu_k) - N(\sum_{k=0}^{m-2}\mu_k)\}](s)]\right], m \geq 1. \quad (7)$$

Ultimately, the m-term approximate solution is formed as

$$\mu(\eta,\theta,\zeta) \cong \mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \ldots + \mu_m, m = 1,2, ... \quad (8)$$

4. ILLUSTRATIVE EXAMPLE

To illustrate the application of the methodology, this section presents a nonlinear fractional-order initial value problem modeling biological population dynamics.

Example: The following fractional-time biological population model will be examined:

$${}_0^C D_\zeta^\alpha \mu = \frac{\partial^2}{\partial\eta^2}\mu^2 + \frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\mu^2 + \mu, \quad (9)$$

the initial condition is given by

$$\mu(\eta,\theta,0) = \sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)}, \quad (10)$$

where $\mu = \mu(\eta,\theta,\zeta), 0 < \alpha \leq 1, (\eta,\theta) \in \mathbb{R}^2, \zeta > 0.$

Applying the Laplace transform to Equation (9) under the initial condition (10):

$$\mathcal{L}[\mu](s) = \frac{1}{s}\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)} + \frac{1}{s^\alpha}\mathcal{L}\left[\frac{\partial^2}{\partial\eta^2}\mu^2 + \frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\mu^2 + \mu\right](s). \quad (11)$$

Applying the inverse Laplace transform to Equation (11), the following result is obtained:

$$\mu = \sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)} + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{s^\alpha}\left[\mathcal{L}\left[\frac{\partial^2}{\partial\eta^2}\mu^2 + \frac{\partial^2}{\partial\theta^2}\mu^2 + \mu\right](s)\right]\right]. \quad (12)$$

Using equations (12), expressions (4)-(6), and the recurrence relation (7), the solution components are obtained as follows:

$$\mu_0 = \mu(\eta,\theta,0) = \sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)},$$

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$\mu_1 = \frac{\zeta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)}\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)},$$

$$\mu_2 = \frac{\zeta^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)}\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)},$$

$$\mu_3 = \frac{\zeta^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)}\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)},$$

$$\vdots.$$

Ultimately, the truncated solution of the problem

$$\mu \cong \mu_0 + \mu_1 + \mu_2 + \ldots + \mu_m,$$

$$\mu \cong \left(1 + \frac{\zeta^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)} + \frac{\zeta^{2\alpha}}{\Gamma(2\alpha+1)} + \frac{\zeta^{3\alpha}}{\Gamma(3\alpha+1)} + \ldots + \frac{\zeta^{m\alpha}}{\Gamma(m\alpha+1)}\right)\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)}.$$

As the parameter m approaches infinity, the truncated solution converges to the analytical solution

$$\mu(\eta,\theta,\zeta) = E_{\alpha,1}(\zeta^{\alpha})\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)}.$$

For the special case of $\alpha = 1$, the analytical solution can be expressed as [15]

$$\mu(\eta,\theta,\zeta) = e^{\zeta}\sqrt{sin(\eta)sinh(\theta)}.$$

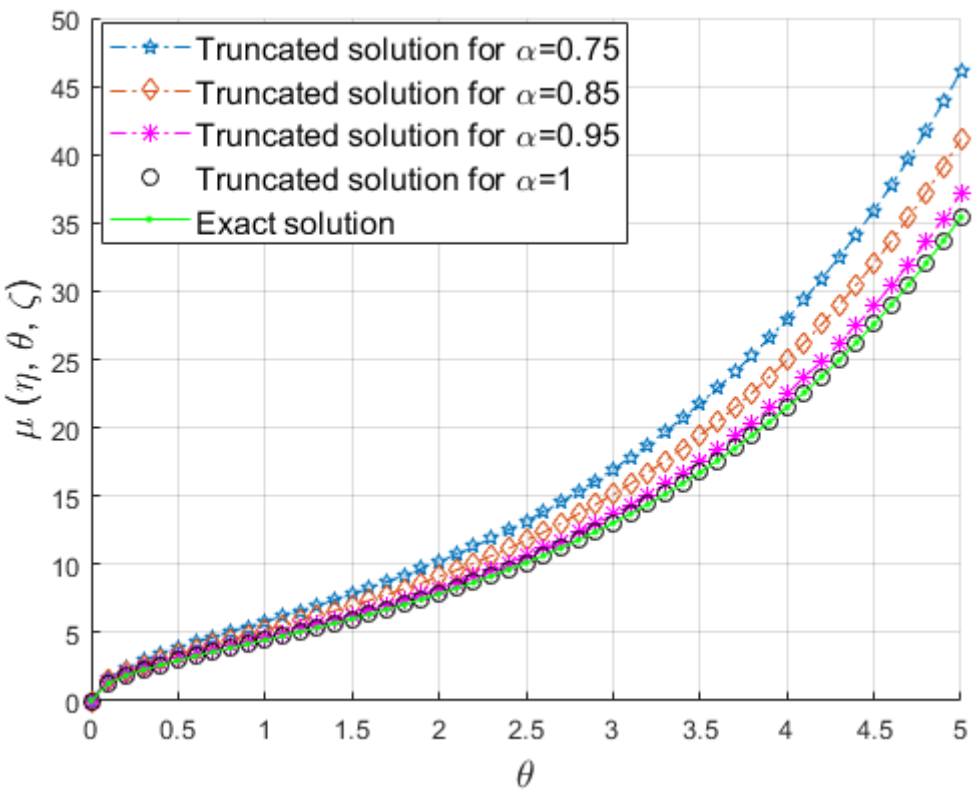


Figure 1. In two-dimensional space, a comparative graphical representation of the exact and seventh-order approximate (μ_7) solutions obtained by the Laplace Iterative Method (LIM) for different fractional order values of α is presented, keeping the parameter values $\zeta = 1.5$ and $\eta = 1$ fixed for the problem considered in the Example.

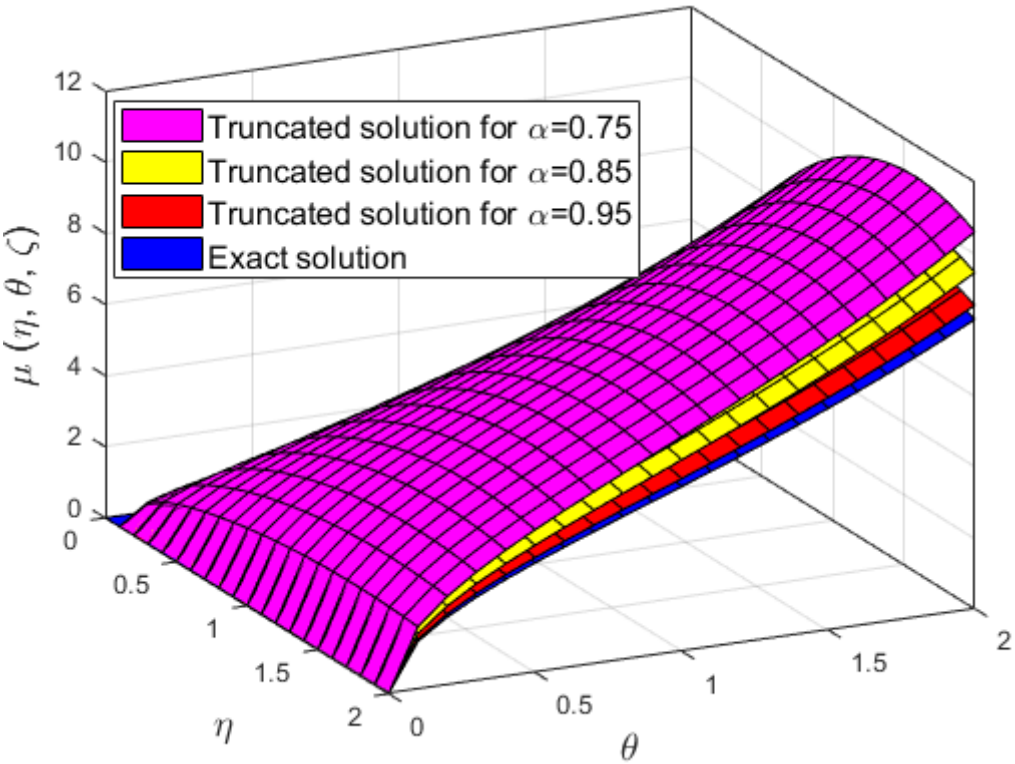


Figure 2. In the solution analysis of the model in the Example, by fixing the parameter values $\zeta = 1.5$, the analytical solutions derived by the Laplace Iterative Method (LIM) for various orders of α and the comparative three-dimensional graphical representation of the approximate solutions (μ_7) in the seventh iteration are examined.

Table 1. For the parametric $\alpha = 1$, the quantitative analysis of the absolute error values calculated between the approximate solution (μ_7) obtained in the seventh iteration, and the analytical solution is presented

(η, θ, ζ)	Absolute Error
(0.1,0.1,0.1)	$2{,}50771625687207\times 10^{-14}$
(0.2,0.2,0.2)	$1.298622320788923\times 10^{-11}$
(0.3,0.3,0.3)	$5.049211049268365\times 10^{-10}$
(0.4,0.4,0.4)	$6.801572194348182\times 10^{-9}$
(0.5,0.5,0.5)	$5.125487789747751\times 10^{-8}$

Table 1 presents a comparison of the absolute error values between the analytical solution corresponding to the parameter $\alpha = 1$ in Example and the seventh-order approximate solution (μ_7). The graphical representations in Figure 1 and Figure 2 clearly confirm that the approximate solutions generated by the Laplace Iterative Method (LIM) exhibit monotonic convergence to the true solution as the parameter α approaches 1. The 2D and 3D graphs of approximate solutions provide support for the visual overlap of the exact and the seven-term approximate solution μ_7. Moreover, an increase in the number of iterations gives rise to semi-analytical solutions with high accuracy.

5. CONCLUSION

This study focuses on semi-analytical or analytical solutions of NTFDEs through LIM. An advantage of this method is that it only requires initial conditions, not boundary conditions, to obtain the solution of the problem. The features of Laplace and inverse Laplace transforms enable us to tackle easier problems. The next step includes the Daftardar-Gejji iteration method to construct a semi-analytical or analytical solution in the series form. The proposed method is effective and practical for dealing with NTFDEs. The presented example verifies that the obtained solutions are remarkably accurate. In the future, new hybrid methods will be considered to solve various fractional differential equations modeling complex systems.

REFERENCES

[1] Ali, I., Dynamical Analysis of Two-Dimensional Fractional-Order-in-Time Biological Population Model Using Chebyshev Spectral Method, Fractal and Fractional, 8, 6, 2024.

[2] Teodoro, G.S., Oliveira, E.C., Fractional derivatives: criteria for classification, Revista Eletrônica Paulista de Matemática, 10, pp. 10-19, 2017.

[3] Alizadeh, A., Effati, S., An iterative approach for solving fractional optimal control problems, Journal of Vibration and Control, 24, 1, pp. 18-36, 2016.

[4] Al-Mdallal, Q.M., Hajji, M.A., Abdeljawad, T., On the iterative methods for solving fractional initial value problems: new perspective, Journal of Fractional Calculus and Nonlinear Systems (JFCNS), 2, 1, pp. 76-81, 2021.

[5] Khuri, S.A., Sayfy, A., A Class of Fractional Two-Point Boundary Value Problems: An Iterative Approach, Journal of Mathematical Science, 280, pp. 84-97, 2024.

[6] Mohsen, N.A., Semary, M.S., Hammad, D.A., El-Azab, M.S., A simple iterative approach for some fractional order models of engineering applications, Benha Journal of Applied Sciences, 9, 5, pp. 89-96, 2024.

[7] Özkan, O., Kurt, A., A new method for solving fractional partial differential equations, The Journal of Analysis, 8, pp. 489-502, 2020.

[8] Iqbal, J., Shabbir, K., Guran, L., Semianalytical Solutions of Some Nonlinear-Time Fractional Models Using Variational Iteration Laplace Transform Method, Journal of Function Spaces, 2021, 2021.

[9] Rakhshan, S.A., Effati, S., The Laplace-collocation method for solving fractional differential equations and a class of fractional optimal control problems, Optimal Control Applications and Methods, 2018, 2018.

[10] Alaroud, M., Al-Qudah, Y., A Novel Attractive Algorithm for Handling Systems of Fractional Partial Differential Equations, WSEAS Transactions on Mathematics, 20, pp. 524-539, 2021.

[11] Faraz, N., Khan, D., Sankar, S., Decomposition-transform method for Fractional Differential Equations, International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation, 11, pp. 305-310, 2010.

[12] Podlubny, I., *Fractional Differential Equations: an Introduction to Fractional Derivatives, Fractional Differential Equations, to Methods of Their Solution and Some of Their Applications*, Elsevier/Amsterdam, 1998.

[13] Kilbas, A.A., Srivastava, H.M., Trujillo, J.J., *Theory and Applications of Fractional Differential Equations*, Elsevier/Amsterdam, 2006.

[14] Shukla, A.K., Prajapati, J.C., On a generalization of Mittag-Leffler function and its properties, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 336, 2, pp. 797-811, 2007.

[15] Roul, P., Application of Homotopy Perturbation Method to Biological Population Model, Applications and Applied Mathematics: An International Journal (AAM), 5, 2, 2010.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

A NUMERICAL APPROACH FOR THE ATANGANA-BALEANU-CAPUTO FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATION UTILIZING FRACTIONAL ADAMS-BASHFORTH TYPE METHOD

Asst. Prof. Dr. Suleyman CETINKAYA
Kocaeli University,
suleyman.cetinkaya@kocaeli.edu.tr - 0000-0002-8214-5099
Prof. Dr. Ali DEMIR
Kocaeli University,
ademir@kocaeli.edu.tr - 0000-0003-3425-1812

ABSTRACT

In this study, a comprehensive computational approach is proposed to have a numerical solution to the fundamental linear fractional differential equation (FDE) with the Atangana-Baleanu-Caputo (ABC) derivative. Intricate real-world problems can be analyzed by modeling them through FDE with the ABC fractional derivative because of its memory effect and its non-singular kernel. The relation between system dynamics and fractional order can be captured through these properties. The fractional Adams-Bashforth type method is utilized to obtain numerical solutions for FDEs with the ABC fractional derivative. The obtained numerical solutions lead to the closed-form analytical solution in terms of Mittag-Leffler functions, which implies the accuracy and robustness of the fractional Adams-Bashforth type method. Tables and figures for various values of fractional order α are provided to verify the stability and precision of the proposed method. The presented example also confirms the accuracy and effectiveness of the proposed method by demonstrating excellent agreement with the analytical result.

Keywords: Atangana-Baleanu-Caputo Derivative, Fractional Differential Equations, Numerical Solution, Fractional Adams-Bashforth Type Method

1. INTRODUCTION

In this study, a comprehensive computational approach is proposed to have a numerical solution to the fundamental linear fractional differential equation (FDE) with the Atangana-Baleanu-Caputo (ABC) derivative. Complex systems in various scientific branches are modeled by FDEs, since the history and hereditary properties of systems are captured with remarkable accuracy by means of the memory effects of the fractional derivative [1] [2] [3]. As a result,

various applications of FDEs in diverse fields such as financial modeling [4], anomalous diffusion in biology and physics [5], viscoelasticity and material science [6], and system control engineering [7] exist. However, solving FDEs includes computational complexity because of the non-local kernels of fractional derivatives. Singular kernels lead to various difficulties and instabilities in the computation of numerical solutions [8]. Even though the ABC fractional derivative allows us to model intricate systems with power-law memory [9], its non-singular and non-local kernel leads to these challenges to overcome [10].

In this research, we consider the following linear fractional differential equation

$$\begin{cases} {}^{ABC}_{0}D_t^{\alpha}\big(y(t)\big) = F\big(t, y(t)\big) \\ y(0) = y_0 \end{cases}, B(\alpha) = 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\Gamma(\alpha)},$$

which play a significant role as a fundamental test problem for numerical approaches. The Mittag-Leffler functions, important for verifying computational schemes, are utilized to obtain their analytical solution [11]. Since the ABC operator are non-linear and require robust numerical techniques for their solution, various numerical approaches such as predictor-corrector algorithms [12], and spectral methods [13] have been developed.

The primary contribution of this study is to develop and validate a dedicated numerical scheme for solving ABC fractional differential equations.

The remainder of this paper is organized as follows. Section 2 presents preliminary results. In Section 3, the flowchart of the numerical algorithm, as well as error analysis, is provided. Section 4 provides a numerical example to verify the obtained results. Finally, the conclusion section summarizes the proposed method and suggests directions for future research.

2. PRELIMINARY RESULTS

This section outlines the fundamental definitions and concepts used throughout this research.

Definition (Sobolev Space)

Let Ω be an open subset of $\mathbb{R}$ and let $p \in [1, \infty)$. The Sobolev space $H^p(\Omega)$ is defined as

$$H^p(\Omega) = \{f \in L^2(\Omega): D^{\beta} f \in L^2(\Omega)\ for\ all\ |\beta| \leq p\},$$

where $D^{\beta} f$ denotes the weak (or distributional) partial derivative of f of order β.

Definition (Left Atangana-Baleanu Fractional Derivative in the Caputo Sense)

Let $h \in H^1(0,1)$ and $0 < \alpha < 1$. The left Atangana-Baleanu fractional derivative of h in the Caputo sense is defined as

$${}^{ABC}_{0}D^{\alpha}_{x}\big(h(x)\big) = \frac{B(\alpha)}{(1-\alpha)}\int_0^x h'(s)\, E_\alpha\left[-\frac{\alpha}{1-\alpha}(x-s)^\alpha\right] ds,$$

where $B(\alpha)$ is a normalization function satisfying $B(0) = B(1) = 1$ and $B(\alpha) > 0$, and $E_\alpha(.)$ is the Mittag-Leffler function.

This derivative is related to its associated fractional integral operator by the following fundamental relation:

$${}^{ABC}_{0}I^{\alpha}_{x}\big(h(x)\big) = \frac{B(\alpha)}{(1-\alpha)}h(x) + \frac{\alpha}{B(\alpha)\Gamma(\alpha)}\int_0^x h(s)\,(x-s)^{\alpha-1} ds.$$

For a comprehensive study of the Atangana-Baleanu fractional operators, readers are referred to [10].

3. MAIN RESULTS AND DISCUSSION

This section presents the core findings of the numerical method employed in this study, which is an adaptation of the Atangana-Baleanu-Caputo (ABC) scheme. It is more generally classified as a Fractional Adams-Bashforth-Type Method. The iterative step used in the code is derived from an approximation of the associated fractional integral operator.

Let us consider the following nonlinear fractional problem:

$$\begin{cases} {}^{ABC}_{0}D^{\alpha}_{t}\big(y(t)\big) = F\big(t, y(t)\big) \\ y(0) = y_0 \end{cases}, B(\alpha) = 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\Gamma(\alpha)}. \tag{1}$$

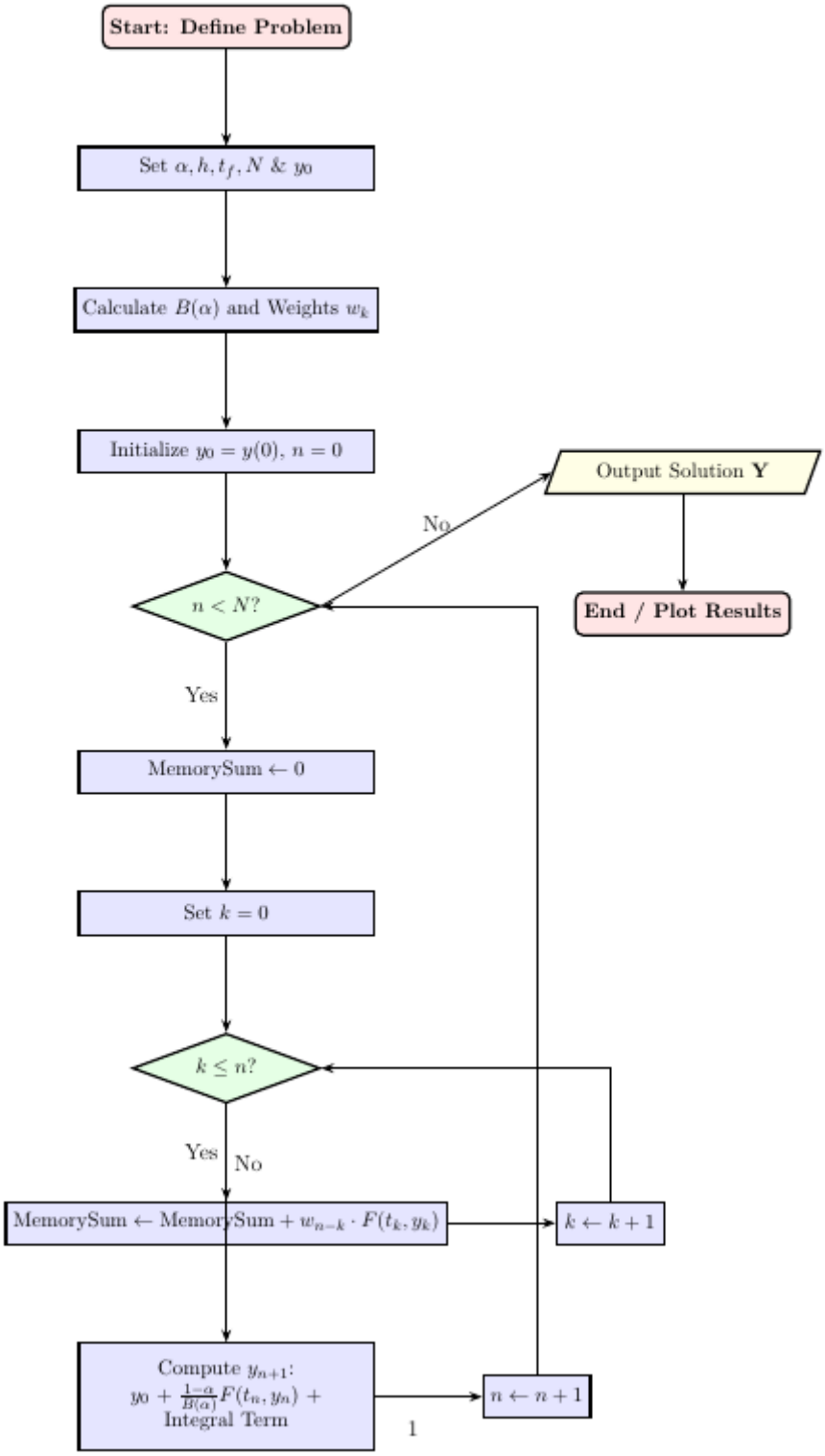
The discretized scheme for solving the fractional differential Problem (1) is given by:

$$y_{n+1} = y_0 + \frac{1-\alpha}{B(\alpha)}F(t_{n+1}, y_n) + \frac{\alpha}{B(\alpha)}\frac{h^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)}\sum_{k=0}^{n}\left[(n-k+1)^\alpha - (n-k)^\alpha\right] F(t_k, y_k),$$

where y_{n+1} is the approximate solution at time t_{n+1}, $y(0) = y_0$ represents the initial condition, $F\big(t, y(t)\big)$ is the right-hand side function of the differential equation, $B(\alpha) = 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\Gamma(\alpha)}$ is the standard normalization function for the Atangana-Baleanu operator.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

The term $\frac{\alpha}{B(\alpha)}\frac{h^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)}\sum_{k=0}^{n}[(n-k+1)^{\alpha}-(n-k)^{\alpha}]\,F(t_k,y_k)$ constitutes the convolution sum, or memory term. This component is inherent to the non-local nature of fractional derivatives and is responsible for encoding the entire history (memory) of the system's dynamics.



ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Figure 1. The flowchart of the Fractional Adams-Bashforth-Type Method for FDEs with ABC fractional derivative.

To assess the accuracy of the proposed scheme, we computed the absolute error between the analytical and numerical solutions, defined as

$$E(t) = \left|y_{analytical}(t) - y_{numerical}(t)\right|.$$

4. ELUCIDATED EXAMPLE

This section presents an example to verify the obtained outcomes of the proposed method.

Example: Let us consider the following Atangana-Baleanu fractional differential problem:

$$\begin{cases} {}^{ABC}_{0}D_t^{\alpha} y(t) = y(t) + 1, 0 < \alpha \leq 1, \\ \qquad\qquad y(0) = 0, \end{cases} \tag{2}$$

where ${}^{ABC}_{0}D_t^{\alpha} y(t)$ denotes the ABC derivative of order α of the function $y(t)$. Its analytical solution is given as:

$$y(t) = \frac{1-\alpha}{B(\alpha)-(1-\alpha)} E_{\alpha}\left(\frac{\alpha}{B(\alpha)-(1-\alpha)} t^{\alpha}\right) + \frac{\alpha}{B(\alpha)-(1-\alpha)} E_{\alpha}\left(\frac{\alpha}{B(\alpha)-(1-\alpha)} t^{\alpha}\right) - 1.$$

The discretized scheme for solving the fractional differential Problem (2) is given by:

$$y_{n+1} = y_0 + \frac{1-\alpha}{B(\alpha)} F(t_{n+1}, y_n) + \frac{\alpha}{B(\alpha)} \frac{h^{\alpha}}{\Gamma(\alpha+1)} \sum_{k=0}^{n} [(n-k+1)^{\alpha} - (n-k)^{\alpha}] F(t_k, y_k),$$

where y_{n+1} is the approximate solution at time t_{n+1}, $y_0 = 0$, $F\big(t, y(t)\big) = y + 1$, $B(\alpha) = 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\Gamma(\alpha)}$.

.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

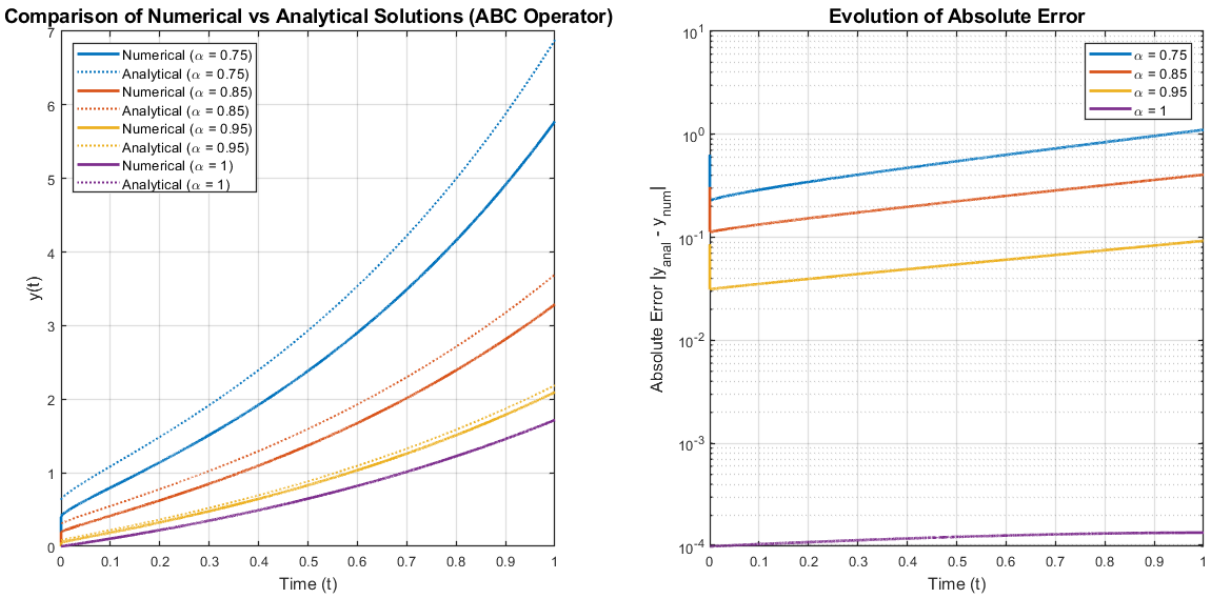


Figure 2. The graphs of the analytical and numerical solutions, as well as the graphs of their absolute errors for various fractional orders α and a uniform temporal step size $h = 0.0001$.

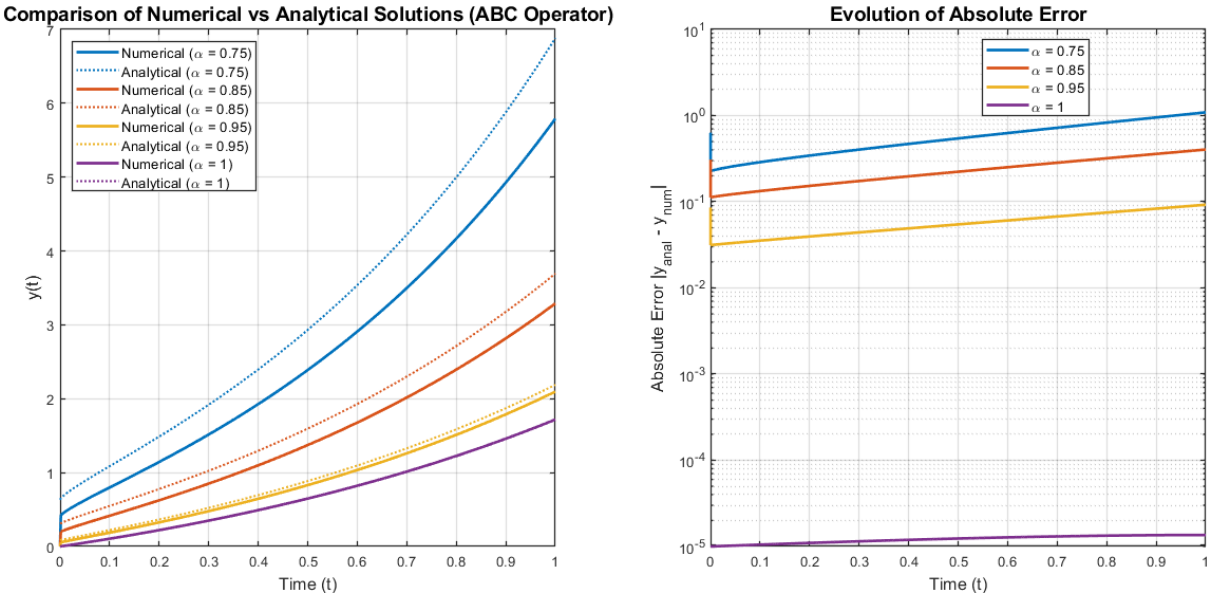


Figure 3. The graphs of the analytical and numerical solutions, as well as the graphs of their absolute errors for various fractional orders α and a uniform temporal step size $h = 0.00001$.

Table 1. The values of absolute error and elapsed time at $t = 1$ for various values of α and various uniform temporal step sizes h.

	$\alpha = 0.75$	$\alpha = 0.85$	$\alpha = 0.95$	$\alpha = 1$	Elapsed Time
$h = 0.01$	1.606	5.020×10^{-1}	9.473×10^{-2}	1.331×10^{-2}	0.272918 sec.
$h = 0.001$	1.189	4.199×10^{-1}	9.315×10^{-2}	1.356×10^{-3}	0.741958 sec.
$h = 0.0001$	1.106	4.060×10^{-1}	9.251×10^{-2}	1.359×10^{-4}	37.134663 sec.
$h = 0.00001$	1.091	4.038×10^{-1}	9.239×10^{-2}	1.359×10^{-5}	3665.302098 sec.

The visual evidence from Figures 2 and 3 indicates that the numerical approximations achieve the highest conformity with the analytical solution as the fractional order α tends to 1. This suggests a limitation in the current numerical methodology's ability to accurately resolve the full influence of the system's memory effect inherent to lower fractional orders.

In Table 1, we observe a dramatic reduction in the absolute error as the step size decreases, which leads to an increment in computational cost. In order to have the required accuracy, we need to have uniform temporal step sizes h.

In summary, the proposed method overcomes the difficulties of a non-singular but non-local kernel of the ABC derivative, which provides accurate numerical solutions. Therefore, this numerical approach can be confidently utilized to solve various FDEs in biology, physics, and engineering, where non-singular kernels and memory effects are prevalent.

5. CONCLUSION

The challenges associated with the ABC fractional derivative are overcome by utilizing the proposed numerical approach. A robust Fractional Adams-Bashforth Type Method is applied to deal with the non-singular, non-local kernel of the ABC operator, which is the core achievement of it. The algorithm for fractional orders $\alpha = 0.75, 0.85, 0.95$, and 1 was evaluated systematically.

The obtained results indicate that the fractional order α play a substantial role in the system's dynamic evolution. Retarded evolution is observed as α tends to 0.75 from 1. Particularly, the behavior of the right-hand side function $F(t, y(t)) = y(t) + 1$ gets slower in this case, which exhibits the effect of the ABC fractional derivative on the behavior of the system. The memory effect and non-locality properties of the ABC fractional derivative get more effective on the behavior as α reduces. Therefore, a viscoelastic-like delay in the solution becomes more apparent. Consequently, the immediate response of the system affects the change in $y(t)$ less as α decreases.

This study leads to an investigation of the more complex and non-linear fractional differential equations, which are significant in the modeling of various systems, such as in biological systems, control theory, and anomalous transport.

REFERENCES

[1] Oldham, K.B., and Spanier, J., *The Fractional Calculus*, Academic Press/New York and London, 1974.

[2] Podlubny, I., *Fractional differential equations: an introduction to fractional derivatives, fractional differential equations, to methods of their solution and some of their applications*, Academic Press/San Diego, CA, 1999.

[3] Diethelm, K., *The Analysis of Fractional Differential Equations : An Application-Oriented Exposition Using Differential Operators of Caputo Type*, Springer/Berlin, 2010.

[4] Scalas, E., Gorenflo, R., Mainardi, F., Majolino, D., Fractional calculus and continuous-time finance, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 284, 1-4, pp. 376-384, 2000.

[5] Metzler, R., Klafter, J., The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach, Physics Reports, 339, 1, pp. 1-77, 2000.

[6] Mainardi, F., *Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity: an introduction to mathematical models*, Imperial College Press/London, 2010.

[7] Monje, C.A., Chen, Y.Q., Vinagre, B.M., Xue, D., Feliu, V., *Fractional-order Systems and Controls Fundamentals and Applications*, Springer/London, 2010.

[8] Li, C., Zeng, F., *Numerical Methods for Fractional Calculus*, Chapman and Hall/New York, 2015.

[9] Gómez-Aguilar, J.F., Torres, L., Yépez-Martínez, H., Baleanu, D., Reyes, J.M., Sosa, I.O., Fractional Liénard type model of a pipeline within the fractional derivative without singular kernel, Advances in Difference Equations, 2016, 2016.

[10] Atangana, A., Baleanu, D., Mainardi, F., Majolino, D., New fractional derivatives with nonlocal and non-singular kernel: Theory and application to heat transfer model, Thermal Science, 20, 2, pp. 763-769, 2016.

[11] Alkahtani, B.S.T., Chua's circuit model with Atangana–Baleanu derivative with fractional order, Chaos, Solitons & Fractals, 89, pp. 547-551, 2016.

[12] Javidi, M., Heris, M.S., Ahmad, B., A predictor–corrector scheme for solving nonlinear fractional differential equations with uniform and nonuniform meshes, International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing, 10, 5, 2019.

[13] Zayernouri, M., Karniadakis, G.E., Fractional spectral collocation methods for linear and nonlinear variable order FPDEs, Journal of Computational Physics, 293, pp.312-338, 2015.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

WORLDVİEW-2 VE ICESAT-2 VERİLERİYLE ÜRETİLEN BATİMETRİ HARİTASI DOĞRULUK ANALİZİ: İZMİR GÜLBAHÇE KÖRFEZİ ÖRNEĞİ

Umut TEKE
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,
umut.teke3565@gmail.com - 0009-0005-9454-4803

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven Koçak
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi,
mehmetguven.kocak@ikcu.edu.tr - 0000-0002-7992-5860

ÖZET

Kıyıya yakın sığ, optik geçirgenliği uygun sularda tek ve çok ışınlı sonar ile hava lidar tercih edilen batimetre yöntemleridir. Ancak zaman, maliyet ve lojistik kısıtlamalar nedeniyle bu yöntemlere alternatif olarak çok kanallı uydu görüntülerini kullanan Uydu Tabanlı Batimetri (UTB) yöntemi uygulamaları son yıllarda artış göstermektedir. UTB ile üretilen batimetri haritalarının kullanılabilmesi için doğruluklarının test edilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında İzmir Gülbahçe Körfezi'nin WorldView-2 (WV2) multispektral verileri ile ICESat-2 ATL03 foton altimetre verilerinin bütünleştirilmesi sonucu üretilen batimetri haritasının doğruluğu analiz edilmiştir. ICESat-2 derinlik verileri, WV2 görüntüsünün ham yansıma değerleri ve histogram germe yöntemiyle değiştirilen yansıma değerlerinin kullanıldığı iki durum için çoklu regresyon yöntemiyle modellenmiştir. Model parametreleri en küçük kareler yöntemiyle kestirilmiş, kestirimin doğruluğu karesel ortalama hata ölçütüyle değerlendirilmiştir. Histogram germe uygulanarak bulunan yansıma değerleriyle elde edilen batimetri haritası doğruluğunun arttığı gözlemlenmiştir. Uydu görüntülerinde mevcut kara alanlarının maskelenmesi fazladan bir iş yükü getirmekle birlikte elde edilecek batimetre haritası doğruluğunu artırmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Batimetri, WorldView-2, ICESat-2, Karesel ortalama hata, Çoklu regresyon

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Accuracy Analysis of Bathymetry Map Generated with WorldView-2 and ICESat-2 Data: The Case of Gülbahçe Bay, İzmir

Umut TEKE
İzmir Kâtip Çelebi University,
umut.teke3565@gmail.com - 0009-0005-9454-4803

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven Koçak
İzmir Kâtip Çelebi University,
mehmetguven.kocak@ikcu.edu.tr - 0000-0002-7992-5860

ABSTRACT

Single and multi-beam sonar and airborne lidar are preferred bathymetry methods in shallow, optically transparent waters near the shore. However, due to time, cost, and logistic constraints, Satellite-Derived Bathymetry (SDB) methods which utilize multispectral satellite imagery, have increased in recent years as an alternative. Testing the accuracy of bathymetry maps produced with SDB is crucial for their usability. In this study, the accuracy of the bathymetry map produced by integrating WorldView-2 (WV2) multispectral data and ICESat-2 ATL03 photon altimeter data of Gülbahçe Bay in İzmir was analyzed. ICESat-2 depth data were modeled using multiple regression for two cases: raw reflectance values of the WV2 image and reflectance values modified using histogram stretching. Model parameters were estimated by the least squares method, and the accuracy of the estimation was evaluated by the root mean square error. It was observed that the accuracy of the bathymetry map obtained with the reflection values found by applying histogram stretching increased. Although masking existing land areas in satellite images adds extra workload, it improves the accuracy of the resulting bathymetry map.

Keywords: Bathymetry, WorldView-2, ICESat-2, Root mean square error, Multiple regression

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SERAMİK TOZU KATKILI DOĞAL HİDROLİK KİREÇ ESASLI HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Nazlı TARHAN
Batman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Malzeme ve İmalat Mühendisliği Bölümü,
nzltarhan98@gmail.com- ORCID: 0009-0004-6879-7914

Prof. Dr. Mustafa OKUMUŞ
Batman Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü,
mustafa.okumus@batman.edu.tr- ORCID: 0000-0003-0369-7686

ÖZET

Bu çalışmada, doğal hidrolik kireç (NHL) bazlı harca ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında seramik tozu (ST) katkılanarak üretilen harç numunelerinin özellikleri incelenmiştir. ST katkılı NHL bazlı harçların mekanik performansları, 7 ve 28 günlük su ve ortam şartlarında kürlenen numunelerde basınç ve eğilme dayanımı testleri ile değerlendirilmiştir. NHL bazlı harca %5 ST katkılanıp ortam şartlarında kürlenen tüm numunelerde basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı; katkılama oranı %10 olduğunda dayanımda artış gözlense de yetersiz kaldığı; katkılama oranı %15 olduğunda ise yaklaşık referans numune (katkısız) değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Bu durum 7 günlük suda kürlenen numunelerde de gözlenmiştir. Ancak 28 günlük suda kürlenen numunelerde katkı oranı %5'den %15'e arttıkça arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarında artış olduğu görülmüştür. 28 günlük suda kürlenen ve %15 ST katkılı NHL bazlı harçta basınç ve eğilme dayanımları, sırasıyla 2.47 MPa (%27.32 artış) ve 0.75 MPa (%7.14 artış) ile en yüksek değerleri almıştır. Üretilen taze harcın işlenebilirliğini ve sertleşmiş harcın su emme kapasitesini tespit etmek için yayılma testi ve kapiler su emme testi yapılmıştır. Yayılma test sonuçlarına göre, harçtaki ST katkısının %5'ten %15 yükselmesi yayılma çapını 160 mm'den 170 mm'ye arttırmıştır. Su emilim testleri, üretilen harçların başlangıçta referansa göre daha yüksek su emme kapasitesine ve kapiler su emme katsayısına sahip olduğunu göstermiştir. Ancak katkı oranı arttıkça gözenek yapısı daha düzenli hâle geldiği için su emme değerleri kademeli olarak azalmış ve 24 saatlik test sonunda %15 ST katkılı numunede 8.44 $kg/m^2.min^{1/2}$ kapiler su emme katsayısı ile referans değerlerine yaklaşmıştır. Bu durum, düşük katkıda seramik tozunun yüksek özgül yüzeyi nedeniyle suyu hızlı çektiğini, yüksek katkıda ise mikro yapının yoğunlaşmasıyla emmenin sınırlanarak zamanla dengeye ulaştığını göstermektedir. Sonuç olarak, NHL bazlı harçta ST oranının %5'ten %15'e çıkması, seramik tozun ince taneli yapısının dolgu ve yağlayıcı etkisiyle harcın akıcılığını artırmış ve yayılma çapını büyütmüştür. Aynı zamanda puzolanik reaksiyonlar ve gözeneklerin dolması sayesinde mikroyapı yoğunlaşmış ve bu durum mekanik özelliklerin iyileşmesine katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal hidrolik kireç, seramik tozu, mekanik özellikler, işlenebilirlik, su emilimi.

GİRİŞ

Özgün mimari özelliklere sahip tarihi yapıların uzun süre korunması evrensel bir zorunluluktur. Tarihi bu yapılar, zamanla çevresel faktörler ve kullanım koşulları neticesinde malzeme ve eleman bazında çeşitli bozulmalara uğrayabilir. Bu bozulmaların onarımı ve güçlendirilmesi sürecinde yapının özgün mimarisine, yapının malzeme özellikleri ve taşıyıcı sistem davranışlarına uygun teknikler belirlenmelidir. Burada temel ilke, yapının özgün niteliklerin bozulmadan korunmasıdır. Korunamayan yapıların restorasyonunda kullanılacak malzemelerin yapının asli dokusuyla uyumlu ve yapıya zarar vermeyecek özellikte olması büyük önem taşır. Harç, sıva, derz ve dolgu gibi kompozit malzemeler, tarihi yapıların restorasyonunda kullanılan en önemli bileşenlerdir. Bu bileşenlerden olan atık seramik malzemeler, hava kireci harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak geçmişten günümüze hala kullanılmaktadır [1,2]. Puzolanik özellik gösteren atık seramik tozu çoğunlukla silis ve alümina içerdiği için harçta ek bağlayıcı fazların oluşumunu destekleyerek mekanik dayanımı ve su geçirimsizliğini artırmaktadır. Eski uygarlıklarda hava kireç bazlı harçların bileşimine seramik artıkları eklenerek, bunlara daha fazla akıcılık ve dayanıklılık kazandırılmıştır. Ayrıca, seramik artıklarının harçlara eklenmesi çevresel avantajlar da sağlamaktadır [3,4]. Tarihi dönemlere ve çevresel koşullara bağlı olarak farklı formülasyonlarla üretilen bu malzemelerin, restorasyon sürecinde kimyasal, fiziksel ve mekanik açıdan özgün harçlarla uyum göstermesi beklenir. Bu nedenle, çalışmamızın da konusu olan restorasyon harçlarının seçimi, üretimi ve özelliklerinin incelenmesi oldukça önemlidir.

Eski uygarlıklarda hidrolik harç hazırlamak için puzolanik mineral ilaveli kirecin kullanıldığı literatürde rapor edilmiştir [5,6]. 18. yüzyılda hidrolik bağlayıcının keşfinden sonra hava kirecinin kademeli olarak hidrolik kireçle değiştirilmiştir. 20. yüzyılın başlarında ise, Portland çimentosu (PC) dikkatleri üzerine çekerek inşaat uygulamalarında baskın malzeme olmuştur. Çünkü, daha hızlı prizlenme oranı ve daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir [7]. Böylelikle hidrolik kireç uygulaması azalmıştır. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, tarihi kalıntıların restorasyonunda kullanılan PC harçlarının yapının mekanik ve fizikokimyasal özelliklerine olumsuz etkilerinin olduğunu ve yapılara zarar verdiğini göstermiştir [8,9]. Bu durum tarihi yapıların restorasyonunda farklı malzemelerin geliştirilmesi için yeni tür malzeme üretim çalışmalara sebep olmuştur. Son zamanlarda NHL üzerine yapılan çalışmalar da görülmektedir [10-12]. Çünkü NHL orta derecede basınç ve eğilme dayanım değerlerine sahiptir ve harç matrisine uygun olarak gaz ve su geçirgenliğini uzun süre koruyabilme kapasitesi de vardır. Ayrıca, NHL harçlarının çözünür tuz içermediği [13] ve çimento kullanımına kıyasla çevre kirliliğini büyük ölçüde azalttığı da rapor edilmiştir [14].

Bu çalışmanın amacı, tarihi eserlerin restorasyonu ve inşaat uygulamaları için uygun harçlar hazırlamaktır. Agrega olarak kalsit kumu ve katkı malzemesi olarak seramik tozu kullanarak NHL-bazlı harçlar hazırlanmıştır. Farklı oranlarda seramik tozu kullanımının NHL-bazlı harçlarda mekanik ve fiziksel etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, tarihi yapıların restorasyonu için seramik tozu ilavesiyle doğal hidrolik kireç harçlarının potansiyel üretimini ve kullanılabilirliği tartışılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak doğal hidrolik kireç (NHL 3.5), katkı maddesi olarak seramik tozu (ST) ve agrega olarak kalsit kumu kullanılarak ST katkılı NHL-bazlı harçlar hazırlanmıştır. NHL 3.5 tipi doğal hidrolik kireç DolphinFix firmasından temin edilmiştir ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Seramik atıkları ve kalsit kumu Sunvit Seramik İnş. Taah. San. ve Dış Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiş, Allalçı San. Tic. A.Ş. laboratuvarında öğütülerek toz formuna getirilmiştir. Elde edilen seramik tozunun kimyasal bileşimi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. NHL 3.5 kireçlerin kimyasal özellikleri (değerler kütle %'si olarak verilmiştir.) [15].

Bileşen	**Kütlece (%)**
CaO+MgO	-
MgO	-
CO_2	-
SO_3	≤3*)
Aktif Kireç	≥ 6
* 28günlük suda sertleştirmede hacim değişmezliği ispatlanırsa, %3'den fazla ve %7'ye kadar SO_3'e müsaade edilir.	

Çizelge 2. Seramik tozu kimyasal bileşimi (wt%)

Bileşen	**CaO**	**SiO_2**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**Na_2O**	**K_2O**	**SO_3**
Kütlece (%)	6.10	47.77	16.47	0.58	2.36	3.92	0.95	0.29

Çizelge 3. Bağlayıcı, agrega ve katkı miktarının harç karışımına göre dağılımı

Karışım Kodu	***NHL 3.5 (g)***	***Agrega (g)***	***Katkı Türü***	***Katkı Miktarı (g)***	***Su (g)***
Referans	400	600	Yok	-	500
%5 ST	380	600	Seramik Tozu	20	500
%10 ST	360	600	Seramik Tozu	40	500
%15 ST	340	600	Seramik Tozu	60	500

Bu çalışma kapsamında ağırlıkça (wt) %5, %10 ve %15 seramik tozu (ST) katkılı üç farklı karışım harcı ve bir referans (%0 ST katkılı) karışım harcı üzere toplam dört farklı NHL-bazlı

harç hazırlanmıştır. Hazırlan harçların karışım oranları Çizelge 3'te verilmiştir. Hazırlanan karışımlarda, ideal harç kıvamının elde edilebilmesi amacıyla standart oranların dışına çıkılmıştır. Bu tercih, kullanılan atık malzemelerin su emme kapasitelerindeki değişkenliğin dikkate alınması sonucunda yapılmıştır.

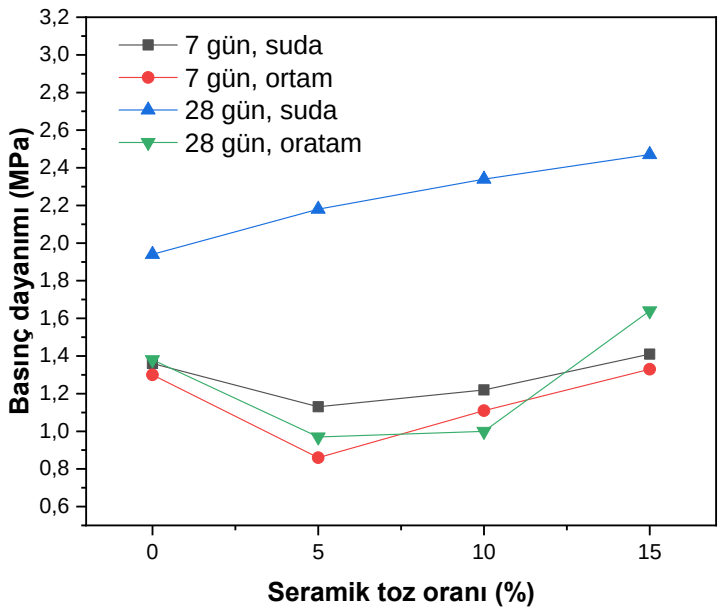
Hazırlanan harçlar, 40×40×160 mm boyutlarındaki prizma kalıplara yerleştirilip, TS EN 196-1 standardına uygun olarak sarsma cihazında sıkıştırılmış ve ardından TS EN 1015-11 dikkate alınarak kalıplardan çıkarılıp kürlenmiştir. Numuneler, ortam koşullarında ve su banyosunda 7 ve 28 gün kürleme işleminden sonra eğilme ve basınç dayanımı testlerine tabi tutulmuştur. Taze harçların kıvamı, TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma deneyleriyle belirlenmiştir. Bu deneyde, 50 mm çapında silindirik kalıp ve yayılma tablası kullanılarak taze harç iki tabaka halinde kalıba yerleştirilip her tabaka hafifçe sıkıştırılmış ve yüzey düzeltilmiştir. Kalıp, kısa bir beklemenin ardından dikey olarak kaldırılmış ve yayılma tablası sabit frekansta toplam 15 kez serbest bırakılarak harcın yayılması sağlanmıştır. Yayılan harç kütlesinin çapı iki dik doğrultuda ölçülerek ortalama değeri kaydedilmiştir. Ayrıca, harç numunelerinin kapiler su emme katsayısı, TS EN 1015-18 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Numuneler, 40×40×160 mm boyutlarındaki kalıplara dökülüp 2 gün kür koşullarında bekletildikten sonra etüvde kurutulmuş ve sabit kütleye ulaşıldığında suya daldırılmıştır. Su emme miktarları ise 10 dakika, 90 dakika ve 24 saatlik sürelerle ölçülmüştür. Aşağıda verilen denklemde [16] ölçülen su miktarları kullanılarak su emme katsayısı (C) hesaplanmıştır.

$$C = \frac{\Delta m}{A\sqrt{t}} \tag{1}$$

Burada, Δm: emilen su miktarı, A: temas eden yüzey alanı, t ise zamandır.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

1.1. Basınç ve Eğilme Dayanımı Analizleri



Görsel 1. 7 ve 28 gün kürlenen ST katkılı NHL-bazlı harçlarda basınç dayanımı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

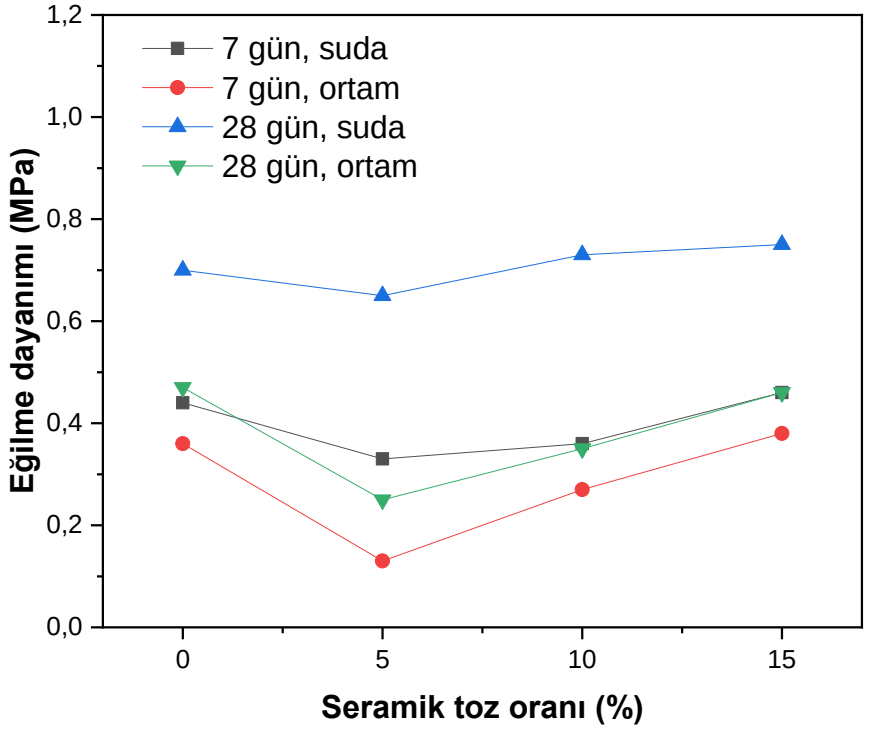
Hazırlanan harçların inşaat uygulamalarında maruz kaldığı mekanik zorlanmalara karşı gösterebileceği dirençleri tespit etmek için eğilme ve basınç dayanımı testleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı, harcın eksenel yükler altındaki davranışını ifade ederken, eğilme dayanımı eğilme gerilmeleri etkisi altında harcın tokluk özelliğini ve çatlak oluşumuna karşı gösterdiği direnci ifade eder. Bu testler sonucunda, seramik tozu katkılı NHL-bazlı harçların koruma, restorasyon ve sürdürülebilir inşaat projeleri için uygunluğu belirlenir. Ayrıca, seramik tozu katkı oranının NHL bazlı harcın performans özelliklerini nasıl etkilediğini anlamak için de önemlidir.

Çizelge 4. Seramik tozu katkılı NHL harçalarında eğilme ve basınç dayanımı değerleri

Numune kodu	**Yaş**	**Kürleme**	**Katkılama oranı (%)**	**Eğilme dayanımı (MPa)**	**Basınç dayanımı (MPa)**
STS07	7 gün	Su	0	0.44	1.36
STO07	7 gün	Ortam	0	0.36	1.30
STS028	28 gün	Su	0	0.70	1.94
STO028	28 gün	Ortam	0	0.47	1.38
STS57	7 gün	Su	5	0.33	1.13
STS107	7 gün	Su	10	0.36	1.22
STS157	7 gün	Su	15	0.46	1.41
STO57	7 gün	Ortam	5	0.13	0.86
STO107	7 gün	Ortam	10	0.27	1.11
STO157	7 gün	Ortam	15	0.38	1.33
STS528	28 gün	Su	5	0.65	2.18
STS1028	28 gün	Su	10	0.73	2.34
STS1528	28 gün	Su	15	0.75	2.47
STO528	28 gün	Ortam	5	0.25	0.97
STO1028	28 gün	Ortam	10	0.35	1.00
STO1528	28 gün	Ortam	15	0.46	1.64

Seramik tozu (ST) katkılı NHL-bazlı harçların 7 ve 28 gün ortam koşullarında ve suda kürlenen numunelerde ST katkı oranına bağlı olarak basınç dayanımı test sonuçları Görsel 1'de

verilmiştir. Aynı numunelere ait eğilme dayanımı test sonuçları ise Görsel 2'de verilmiştir. Görsel 1 ve Görsel 2'den elde edilen basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4'te verilmiştir. Görsel 1 ve Çizelge 4 verilerine göre; 7 gün suda kürlenen numunede basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, %5 katkı oranında dayanımın referans numuneye (%0 ST katkılı) göre azaldığı (1.13 MPa), %10 katkı oranında kısmi bir toparlanma gözlense de (1.22 MPa) referans değerin (1.36 MPa) altında kaldığı belirlenmiştir. %15 katkı oranında ise basınç dayanımı 1.41 MPa değerine ulaşarak referans numuneye kıyasla %3.67 oranında artış göstermiştir. Bu durum, yüksek katkı oranlarının basınç dayanımı üzerinde olumlu etki oluşturduğunu göstermektedir. Ortam koşullarında kürlenen numunelerin basınç dayanımları da benzer bir eğilim sergilemiştir. %5 katkı oranında basınç dayanımı 0.86 MPa ile referans değere göre önemli ölçüde düşerken, %10 katkı oranında 1.11 MPa değerine ulaşarak referans değere yaklaşmıştır. %15 katkı oranında ise basınç dayanımı 1.33 MPa olarak ölçülmüş ve referans numunenin üzerinde gerçekleşmiştir. 28 gün suda kürlenen numunelerde basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, katkı oranının artmasıyla birlikte dayanım değerlerinde düzenli bir artış eğilimi gözlenmiştir. %5 katkı oranında basınç dayanımı 2.18 MPa'a yükselerek referans numuneye göre artış göstermiştir. %10 katkı oranında bu değer 2.34 MPa'a, %15 katkı oranında ise 2.47 MPa'a ulaşmıştır. Bu değerler, 28 gün suda kürlenen ve %15 ST katkılı numunede basınç dayanımı değeri referans numunenin basınç dayanımı değerine göre %27.32 oranında artış olduğunu göstermektedir. Bu durum, özellikle %15 ST katkı oranının 28 gün suda kürlenen numunenin basınç dayanımı üzerinde belirgin ve olumlu bir etki oluşturduğunu ortaya koymuştur. 28 gün ortam koşullarında kürlenen numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde, %5 katkı oranında basınç dayanımı 0.97 MPa'a düşerek referans numunenin altında kaldığı, ancak %10 katkı oranında 1,00 MPa seviyesine yükseldiği görülmüştür. %15 katkı oranında ise basınç dayanımı 1.64 MPa olarak ölçülmüş ve bu durumda referans numuneye göre %18.84 artış olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, ortam koşullarında kürlenen numunelerde basınç dayanımı kazanımının suda kürlenen numunelere göre daha sınırlı olmakla birlikte, ST katkı oranının artışıyla iyileştiğini göstermektedir.



Görsel 2. 7 ve 28 gün kürlenen ST katkılı NHL-bazlı harçlarda eğilme dayanımı

Görsel 2 ve Çizelge 4'te verilen eğilme dayanımı sonuçları değerlendirildiğinde hem su küründe hem de ortam koşullarında kürlenen numunelerde düşük katkı oranlarının dayanımı olumsuz etkilediği görülmektedir. 7 gün suda kürlenen %5 ST katkılı numunede eğilme dayanımı referans numuneye göre 0.33 MPa'a düştüğü, %10 katkı oranında 0.36 MPa değerine yükseldiği, ancak yine de referans numune değerinin altında kaldığı görülmektedir. %15 katkı oranında ise eğilme dayanımı 0.46 MPa ile referans numuneye göre %4.55 oranında artış olmuştur. 7 gün ortam koşullarında kürlenen numunelerde eğilme dayanımı ST katkı oranının %5 olduğunda 0.13 MPa ile referans değere göre oldukça azaldığı, %10 katkı oranında 0.27 MPa değeri ile referans numune değerine yaklaşıldığı, %15 katkı oranında 0.38 MPa ile referans değerin %5.55 üzerinde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar 7 günlük su ve ortam kürlerinde düşük katkı oranlarının (özellikle %5) hem basınç hem de eğilme dayanımlarını olumsuz etkilediğini, ancak katkı oranı %15 olunca eğilme dayanım değerinin referans değere göre iyileştiğini göstermiştir.

28 gün süreyle su küründe ve ortam koşullarında kürlenen NHL bazlı harç numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları, katkı oranına bağlı olarak belirgin değişimler göstermektedir. Referans numunede (0 katkı) suda kürlenen için eğilme dayanımı 0.70 MPa olarak belirlenirken; ortam koşullarında kürlenen referans numunenin eğilme dayanımı 0,47 MPa olarak ölçülmüştür. %5, %10 ve %15 katkı oranlarında eğilme dayanımı sırayla 0.65 MPa, 0.73 MPa ve 0.75 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar suda kürlenen ST katkılı numunelerde eğilme dayanımının, katkı oranı arttıkça kademeli olarak yükseldiğini ve referans numune değerinin üzerine çıkarak numunenin mekanik özelliklerine olumlu katkı sağladığını

göstermektedir. 28 gün ortam koşullarında kürlenen numunelerde ise eğilme dayanımı daha düşük seviyelerde seyretmiştir. %5 katkı oranında eğilme dayanımı 0.25 MPa'a gerileyerek referans değerin oldukça altında kalmıştır. %10 katkı oranında 0.35 MPa'a yükselmiş, %15 katkı oranında ise 0.46 MPa olarak ölçülerek referans numune değerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, hazırlanan numunelerin mekanik özellikleri değerlendirildiğinde 28 günlük kür süresi sonunda su küründe elde edilen basınç ve eğilme dayanımlarının ortam koşullarına göre daha yüksek olduğu, katkı oranının artmasıyla birlikte her iki kür koşulunda da dayanım değerlerinin iyileştiği görülmüştür. Özellikle %15 ST katkı oranında hem basınç hem de eğilme dayanımlarında en yüksek değerlerin elde edilmesi, bu katkı oranının 28 günlük mekanik performans açısından en uygun seviye olduğunu ve bu oranda üretilen NHL-bazlı harcın inşaat uygulamalarında kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

1.2. Yayılma Analizleri

Hazırlanan ST katkılı NHL-bazlı harçların kıvam, akıcılık ve işlenebilirlik durumlarını tespit etmek için yayılma analizleri yapılmıştır. Yayılma deneyleri sonucunda referans numunede yayılma çapı 130 mm olarak ölçülmüştür. Ayrıca, yayılma değerinin katkı oranına bağlı olarak nasıl değiştiği de araştırıldı. Elde edilen sonuçlara göre, yayılma çapı değeri %5 ST katkılı harçta 160 mm, %10 ST katkılı harçta 163 mm ve %15 ST katkılı harçta 170 mm olarak bulunmuştur. NHL-bazlı harca %5-15 oranlarında ST ilavesi olduğunda ST katkısının harçların taze hal reolojik özellikleri üzerinde belirgin bir etki oluşturarak yayılmanın arttığı, bu artışın referans numuneye göre %15 ST katkılı harçta %30.77 olduğunu bulunmuştur. Elde edilen bulgular, ST katkı oranının artmasıyla birlikte harçların akıcılığının kademeli olarak yükseldiğini ve harcın daha düşük iç sürtünmeye sahip bir reolojik davranış sergilediğini göstermiştir. Yayılma değerlerindeki artış, seramik tozunun uygun tane boyutu dağılımı sayesinde NHL matris içerisindeki boşlukları doldurarak harç yapı yoğunluğunu arttırmasına bağlanabilir. Ayrıca, ince taneli yapının karışımda kullanılan agregalar arasındaki boşlukları da etkin biçimde doldurması sonucunda toplam boşluk oranının azalmasına ve katı bileşenler arası temasın daha dengeli hale gelmesine, taze harçta daha homojen ve akışkan bir yapı oluşmasına katkı sağlanmıştır. Sonuç olarak, ST katkısının NHL-bazlı harçlarda işlenebilirliği olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Uygulama ve yerleştirme aşamalarında daha kolay şekillendirilebilen ve yüzeye daha düzgün yayılan ST katkılı NHL-bazlı harçların hazırlanabileceği sonucuna varılmıştır.

1.3. Kapiler Su Emme Analizleri

Çizelge 5. ST katkılı NHL-bazlı harçlarda kapiler su emme katsayı değerleri

Numune	***10 dk. Kapiler Su Emme(kg/m².min$^{1/2}$)***	***90 dk. Kapiler Su Emme(kg/m².min$^{1/2}$)***	***24 saat Kapiler Su Emme(kg/m².min$^{1/2}$)***
Referans (%0 ST)	24.60	18.73	8.51
%5 ST	25.39	20.58	8.74
%10 ST	24.60	19.52	8.59
%15 ST	24.60	18.73	8.44

Hazırlanan harçlarda gözenek durumunu ve katkılama oranının su emme davranışlarını incelemek için kapiler su emme testleri yapılmıştır. Test sonuçlarından kapiler su emme katsayı değerleri hesaplanmıştır. Farklı süreler dikkate alınarak hesaplanan kapiler su emme katsayı değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5'te görüldüğü gibi, NHL-bazlı harçlara farklı oranlarda seramik tozu (ST) ilavesinin kapiler su emme davranışı üzerindeki etkileri, 10 dakika, 90 dakika ve 24 saatlik ölçüm süreleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Çizelge 5'te verilen 10 dakika su alan numuneler için kapiler su emme katsayıları incelendiğinde, %5 ST katkılı numunenin referans numuneye kıyasla daha yüksek bir değer sergilediği, %10 ve %15 ST katkılı numunelerin ise referans numune ile aynı kapiler su emme katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum, ST katkı miktarının kısa süre su emme durumunda etkisinin referans numuneye göre fazla olmadığını göstermiştir. 90 dakikalık ölçümler değerlendirildiğinde, %5 ve %10 ST katkılı numunelerin referans numuneye göre daha yüksek kapiler su emme katsayıları gösterdiği, buna karşılık %15 ST katkılı numunenin referans numune ile aynı değeri koruduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, %5 ve %10 ST katkılarında kapiler sürekliliğin belirli ölçüde arttığını, ancak %15 ST katkı oranında tane boyutu dağılımının iyileşmesi ve mikro boşlukların daha etkin biçimde doldurulması sayesinde kapiler su emme davranışının dengeye ulaştığını göstermektedir. 24 saatlik kapiler su emme katsayıları incelendiğinde ise önceki numunelere göre su emme katsayılarının önemli derecede küçüldüğü görülmektedir. Minimum su emme katsayısı %15 ST katkılı NHL-bazlı harç numunesinde 8.44 $kg/m^2.min^{1/2}$ olarak hesaplanmıştır. %15 ST katkılı numunenin, referans numuneden daha düşük bir kapiler su emme katsayısı sergilemesi, seramik tozunun NHL harç içinde daha kompakt ve yoğun bir mikroyapı oluşturduğuna işaret etmektedir. Bu durum, numunenin uzun süreli suda veya nemde kalması durumunda ST katkısının kapiler su emme davranışı üzerinde olumsuz bir etki oluşturmadığını, aksine numunenin suya karşı direnci artırarak uzun ömürlü olmasına katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, ST katkısının özellikle tarihi yapı onarımlarında kullanılan NHL-bazlı harçlar açısından, suya maruz kalma koşullarındaki performans ve dayanıklılık bakımından dengeli bir performans sunduğu anlaşılmaktadır.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Doğal hidrolik kireç (NHL) bazlı harca ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında seramik tozu (ST) katkılanarak harç numuneleri başarılı bir şekilde homojen olarak üretildi. Üretilen harçların mekaniksel ve fiziksel özellikleri incelendi. Basınç dayanımı test sonuçları, ST katkı oranı ve kür koşullarının NHL-bazlı harçların mekanik performansı üzerinde etkili olduğunu gösterdi. Minimum basınç dayanım değeri 7 gün ortam koşullarında kürlenen %5 ST katkılı numunede 0.86 MPa olarak ölçüldü. Buna karşılık, maksimum basınç dayanımı 28 gün suda kürlenen %15 ST katkılı numunede 2.47 MPa olarak ölçüldü. Bu maksimum değer aynı kür koşullarında hazırlanan referans numune değeri ile karşılaştırıldığında %27.32 oranında bir iyileşmeye karşılık gelir. Ayrıca, düşük katkı oranlarının 7 gün kürlenen numunelerde basınç dayanımını olumsuz etkilediği, buna karşın yüksek katkı oranının (özellikle %15 ST katkı) hem 7 gün hem de 28 gün kürlenen numunelerde dayanım üzerinde belirgin iyileşmeler sağladığı ve uygulamalar için uygun performansın %15 ST katkı oranında elde edildiği anlaşılmıştır. Eğilme dayanımı test sonuçları, ST katkılı NHL-bazlı harçlarda en düşük eğilme dayanımı değeri 7 gün ortam koşullarında kürlenen %5 ST katkılı numunede 0.13 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, en yüksek eğilme dayanımı 28 gün su küründe bekletilen %15 ST katkılı numunede

0.75 MPa olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, katkı oranı arttıkça eğilme dayanımının iyileştiğini ve özellikle 28 gün suda kürlenen %15 ST katkılı NHL-bazlı harcın inşaat uygulamaları için en uygun eğilme dayanımı performansı sağladığını göstermiştir. Yapılan yayılma deneyleri, seramik tozu (ST) katkısının NHL-bazlı harçların taze hal reolojik özelliklerini belirgin şekilde iyileştirdiğini göstermiştir. ST oranı %5'ten %15'e arttıkça yayılma çapı 130 mm'den 170 mm'ye yükselmiş, harçların akıcılığı ve işlenebilirliği artmıştır. Bu durum, ST'nin ince tane yapısı sayesinde boşlukları doldurarak daha homojen, düşük iç sürtünmeli ve kolay şekillendirilebilir bir taze harç yapısı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Kapiler su emme test sonuçları, NHL-bazlı harçlara ST ilavesinin kapiler su emme davranışını hem katkı oranına hem de su alma süresine bağlı olarak etkilediğini gösterdi. Kısa süreli su emme testlerinde su alımı referans harca göre artarken, 24 saatlik uzun süreli testlerde ise %15 ST katkılı numune 8.44 $kg/m^2.min^{1/2}$ ile en düşük kapiler su emme katsayısını gösterdi. Bu durum, ST katkısının NHL-bazlı harçta daha yoğun ve kompakt bir yapı oluşturduğunu ortaya koymakta ve böylece ST katkılı NHL-bazlı harçların suya karşı dayanıklılığını artırmakta ve uzun ömürlü performansa katkı sağladığını göstermektedir. El edilen tüm sonuçlar, %15 ST katkılı NHL-bazlı harcın inşaat uygulamalarında özellikle yapı onarımlarında kullanılabileceğini göstermiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, Allalçı Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye (Batman) bu çalışmanın deneysel sürecinde araştırma ve geliştirme (AR-GE) laboratuvar olanaklarını kullanmalarına imkân tanıdıkları için teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

[1] Matias, G., Faria, P., Torres, I., Lime mortars with ceramic wastes: characterization of components and their influence on the mechanical behaviour, *Construction and Building Materials*, 73, 523–534, 2014.

[2] Ergenç, D., Sierra-Fernandez, A., Barbero-Barrera, M., et al., Assessment on the performances of air lime-ceramic mortars with nano-$Ca(OH)_2$ and nano-SiO_2 additions, *Construction and Building Materials*, 232, 117163, 2020.

[3] Vieira, C.M.F., Monteiro, S.N., Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review, *Materia*, 14(3), 881–905, 2009.

[4] Corinaldesi, V., Environmentally-friendly bedding mortars for repair of historical buildings, *Construction and Building Materials*, 35, 778–784, 2012.

[5] Callebaut, K., Elsen, J., Van Balen, K., Viaene, W., Nineteenth century hydraulic restoration mortars in the Saint Michael's church (Leuven, Belgium): Natural hydraulic lime or cement?, *Cement and Concrete Research*, 31, 397–403, 2001.

[6] Velosa, A.L., Coroado, J., Veiga, M.R., Rocha, F., Characterisation of Roman mortars from Conímbriga with respect to their repair, *Materials Characterization*, 58(11–12), 1208–1216, 2007.

[7] Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Aguilera, J., Puertas, F., Van Balen, K., Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortar, *Atmospheric Environment*, 35, 539–548, 2001.

[8] El-Turki, A., Ball, R.J., Carter, M.A., Wilson, M.A., Ince, C., Allen, G.C., Effect of dewatering on the strength of lime and cement mortars, *Journal of the American Ceramic Society*, 97(3), 2074–2081, 2010.

[9] El-Turki, A., Ball, R.J., Holmes, S., Allen, W.J., Allen, G.C., Environmental cycling and laboratory testing to evaluate the significance of moisture control for lime mortars, *Construction and Building Materials*, 24, 1392–1397, 2010.

[10] Xu, S., Wang, J., Jiang, Q., Zhang, S., Study of natural hydraulic lime-based mortars prepared with masonry waste powder as aggregate and diatomite/fly ash as mineral admixtures, *Journal of Cleaner Production*, 119, 118–127, 2016.

[11] Torres, I., Matias, G., Faria, P., Natural hydraulic lime mortars – The effect of ceramic residues on physical and mechanical behaviour, *Journal of Building Engineering*, 32, 101747, 2020.

[12] Xu, S., Ma, Q., Wang, J., Wang, L., Grouting performance improvement for natural hydraulic lime-based grout via incorporating silica fume and silicon-acrylic latex, *Construction and Building Materials*, 186, 652–659, 2018.

[13] Kalaitzaki, P., Bakolas, A., Karatasios, I., Kilikoglou, V., Hydraulic lime mortars for the restoration of historic masonry in Crete, *Cement and Concrete Research*, 35(8), 1577–1586, 2005.

[14] Grist, E.R., Paine, K.A., Heath, A., Norman, J., Pinder, H., The environmental credentials of hydraulic lime-pozzolan concretes, *Journal of Cleaner Production*, 93, 26–37, 2015.

[15] TS EN 459-1, Yapı kireci – Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2015.

[16] Guerroui, R., Benouis, A., Adhesion of masonry coating: Effect of mortar consistency and type of substrate, *Annales de Chimie – Science des Matériaux*, 47(5), 281–286, 2023.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

İNŞAAT YIKINTI ATIĞI AGREGASI İLE İMAL EDİLEN GEÇİRİMLİ KAZIĞIN KOHEZYONSUZ ZEMİNDEKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Doç. Dr. Talha SARICI
İnönü Üniversitesi,
talha.sarici@inonu.edu.tr - 0000-0001-8488-5851
Arş. Gör. Mustafa ÖZCAN
İnönü Üniversitesi,
mustafa.ozcan@inonu.edu.tr - 0000-0001-5745-8694
Rüçhan Enes KORKMAZ
İnönü Üniversitesi,
korkmazruchanenes@gmail.com - 0009-0008-7504-774X

ÖZET

Özellikle doğal afetler neticesinde yüz binlerce tonu aşan moloz meydana gelmektedir. Bu molozların bertaraf edilmesi/dönüştürülmesi bölgede yaşayanlar için hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, çalışma kapsamında yıkılan bir binadan elde edilen inşaat yıkıntı atığı agregası ve bağlayıcı olarak çimento kullanılarak geçirimli kazık imal edilmiştir. İlk aşamada küp numuneler ile oluşturulan geçirimli beton üzerinde serbest basınç deneyi ve geçirimlilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada 15 cm yüksekliğe ve 5 cm çapa sahip geçirimli kazık kohezyonsuz zemine yerleştirilmiş ve model yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Model yükleme deneyinden elde edilen iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş zemine ait göçme yükleri ve yük altındaki davranış karşılaştırılmış ve yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, geçirimli kazık kullanımı ile kohezyonsuz zayıf zemine oranla, model rijit temelin taşıma kapasitesinin 13.58 kata kadar arttırabildiği görülmüştür. Ayrıca geçirimli kazığın drenaj kabiliyeti sayesinde oluşabilecek ekstra boşluk suyu basınçlarını da bertaraf edilebileceği düşünülmektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçların zemin iyileştirme uygulamalarında geçirimli kazık kullanımı için fikir verici ve yol gösterici olacağı, inşaat yıkıntı atığı kullanımı ile de molozların bertaraf/dönüştürülme sürecine katkı sağlayarak hem ekonomik hem de çevresel fayda sağlayacağı öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Geçirimli kazık, zemin iyileştirme, inşaat yıkıntı atığı

1. GİRİŞ

Afetler genel olarak afet öncesi, afet anı ve afet sonrası olmak üzere üç süreçten oluşurlar [1]. Yerel ve merkezi yönetimlerin bu üç süreç için çeşitli eylem planları bulunmaktadır. Özellikle deprem gibi afetler yıkıcı boyutlara ulaştığında bu üç süreci de idare etmek oldukça güç hale gelmektedir [2]. 6 Şubat'ta yaşanan Kahramanmaraş deprem sekansında 100 milyon ton inşaat yıkıntı atığı (İYA) oluşumu beklenmiş ve farklı şehirlerde devasa depolama sahaları oluşturulmuştur [3]. İYA stok sahalarının atmosferik koşullara maruz kalması, yağışlar nedeniyle yeraltı sızıntılarına; rüzgarlar sebebiyle yerleşim alanlarına toz taşınmasına neden olmaktadır [4]. Bu bağlamda afet sonrası süreçte ortaya çıkan molozların stoklanması ve kısa vadede bertaraf edilmesi/dönüştürülmesi oldukça önemlidir. Bu bağlamda, ortaya çıkan atıkların farklı disiplinlerde değerlendirilmesi adına farklı çalışmalar yapılmaktadır [5-9].

Işık [10] çalışmasında zayıf bir kil zemini iyileştirmek için İYA bazlı geopolimer kullanmıştır. Araştırmacı yaptığı serbest basınç deneylerinde İYA bazlı geopolimer ile yapılan iyileştirmenin zeminin kayma dayanımını 14.6 kata kadar arttırabildiğini belirtmiştir. Yu vd. [11] çalışmalarında İYA bazlı geopolimer ile yüksek plastisiteli kil zemini iyileştirerek yol dolgusu olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Yüzde 25 İYA içeriğinin zeminin serbest basınç dayanımını ve elastisite modülünü arttırdığını belirtmişler ve bu artışların güçlendirilmemiş zemine oranla 8.6 kata kadar ulaştığını eklemişlerdir. Hidalgo vd. [12] çalışmalarında İYA ile karıştırılarak oluşturulan zemin yapısının karayolu uygulamalarında dolgu olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar zayıf zeminin İYA ile karıştırılması ile elde edilen yapının standartlara uygun özellikler gösterebildiğini ve maaliyeti yüzde 7 oranında azaltabildiğini belirtmişlerdir. Ok vd. [13] çalışmalarında İYA'dan elde edilen agregaların dolgu agregalarının yerine kullanılabilirliğini araştırmak üzere çalışmalar gerçekleştirmişlerdir ve İYA agregalarının pek çok standarda göre uygun mühendislik özelliklerini taşıyabileceğini belirtmişlerdir.

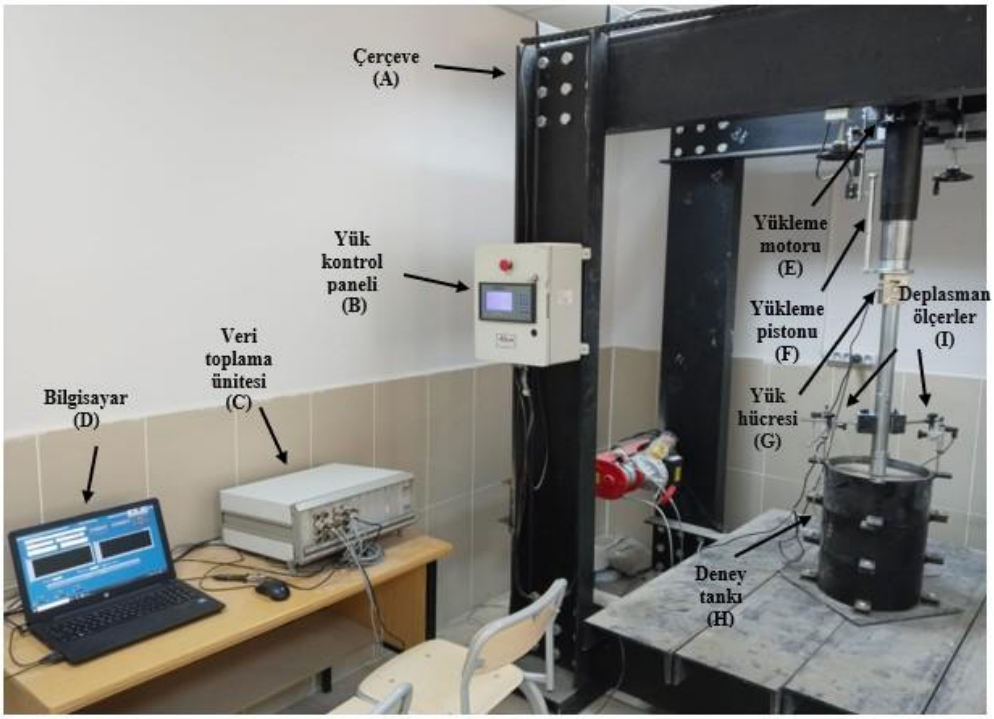
Geçirimli betonlar, boşluk oranı yüksek taşıyıcı elemanlar olarak tasarlanmaktadır. Yüksek boşluk oranına bağlı olarak oluşan yapı, suyu drenaj edebilme kabiliyetine sahip olabilmektedir. Bu bağlamda geçirimli beton ile imal edilen geçirimli kazıklar pek çok çalışmada kendine yer bulmuştur. Zemin içerisinde oluşacak ekstra boşluk suyu basınçlarının geçirimli kazıklar sayesinde drene edilebilmesi, yer altı akışlarının etkisinin geleneksel beton kazıklara oranla daha düşük olması gibi nedenler geçirimli kazıkların kullanımını arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında geçirimli beton yapıda agrega olarak İYA ve bağlayıcı olarak çimento seçilmiş ve geçirimli kazıklar imal edilmiştir. Farklı yükseklikler sahipler kazıklar kullanılarak, geçirimli beton kazığın zayıf zeminde yük altındaki davranışı araştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların, moloz bertaraf/dönüşüm süreçlerine alternatif sağlayarak hem sağlık açısından hem de ekonomik açıdan önemli kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2. MATERYAL VE METOD

2.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında, inşaat yıkıntı atıklarından (Çizelge 1) elde edilen agregalar ve bağlayıcı olarak çimento kullanılarak geçirimli beton imalatı yapılmıştır. Geçirimli beton numunelerinde boşluk oranı % 20 olarak belirlenmiştir. Çimento dozajı tüm karışımlarda 350 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Beton numuneleri serbest basınç ve düşen seviyeli geçirimlilik deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen beton ile oluşturulan kazıklar 5 cm çapa sahip olup, deneysel çalışmalarda zayıf zemin ortamının merkezine yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan kohezyonsuz zemin en sıkı halinde yerleştirilmiştir. Kohezyonsuz zemine ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda iki farklı kazık yüksekliği kullanılmıştır (15 cm ve 25 cm). Deneyler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğine ait görsel Görsel 1'de görülmektedir. Oluşturulan zemin ortamı ve deneysel çalışmaya ait görseller Görsel 2'de görülmektedir.



Görsel 1. Model yükleme deney seti [14]

Çizelge 1. İYA agregası özellikleri [15]

Parametre	Birim	Değer
Üniformluk katsayısı (C_u)	-	20.00
Eğrilik katsayısı (C_c)	-	1.12
Yassılık indeksi	%	11.14
Los Angeles aşınma (LA)	%	32.38
Dane birim hacim ağırlığı (γ_s)	kN/m^3	26.21^i-26.03^k
Su emme	%	6.91^i-3.94^k

Maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmaks})	kN/m^3	19.79
Optimum su içeriği (ω_{opt})	%	11.25
Kaliforniya taşıma oranı (CBR)	%	90.59
Zemin sınıfı (ASTM D2487-11)	-	SW
Zemin sınıfı (TS 1500/2000)	-	GW

Çizelge 2. Zayıf zemine ait parametreler [14]

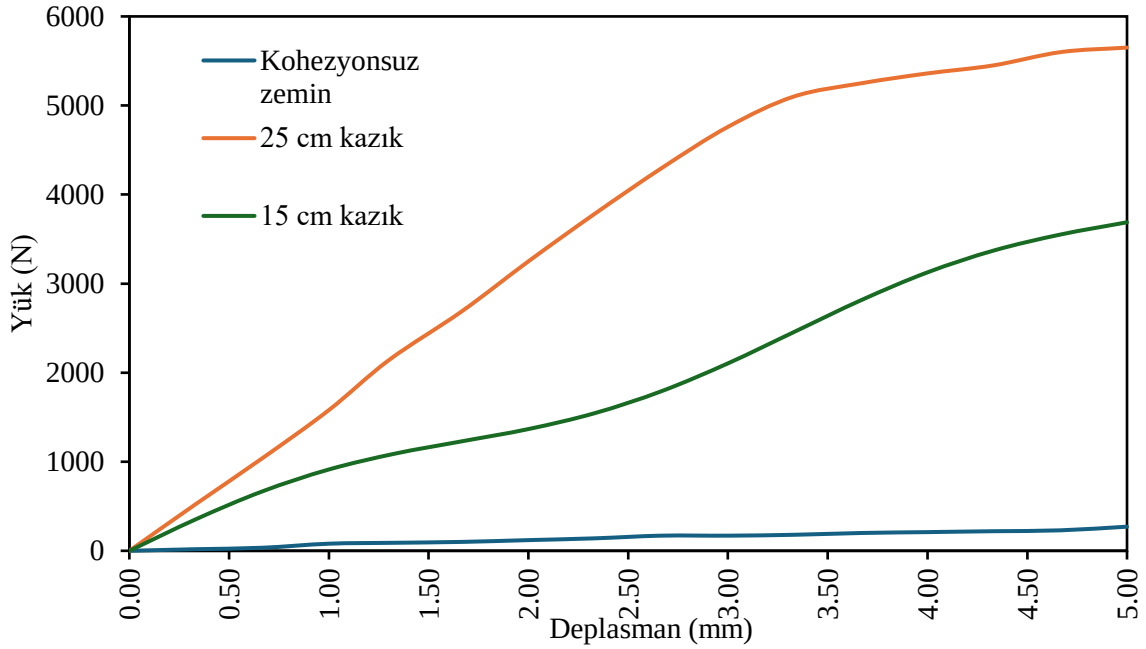
Parametre	**Birim**	**Değer**
Özgül yoğunluk (G_s)	-	2.74
Maksimum kuru yoğunluk (ρ_{kmax})	Mg/m^3	1.65
Minimum kuru yoğunluk (ρ_{kmin})	Mg/m^3	1.45
Üniformluk katsayısı (C_u)	-	2.375
Eğrilik katsayısı (C_c)	-	0.926
Sınıflandırma	-	SP
İçsel sürtünme açısı (φ)	Derece (°)	40

Görsel 2. Geçirimli kazıklar, deney tankı ve yükleme sürecine ait görseller

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İlk aşamada oluşturulan geçirimli beton ile 5 cm x 5 cm x 5 cm boyutlarında küp numuneler ile basınç dayanımı ve silindir numuneler ile düşen seviyeli geçirimlilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen beton için basınç dayanım değerleri 7 ve 28 gün için sırasıyla 2.60 N/mm^2 ve 3.80 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Ayrıca gerçekleştirilen geçirimlilik deneylerinde geçirimli kazığın geçirimlilik katsayısı da 0.169 mm/sn olarak hesaplanmıştır. Sonraki aşamada kohezyonsuz zayıf zemini güçlendirmek üzere zemin içerisine yerleştirilen geçirimli kazıklara model yükleme deney seti ile düşey yük uygulanmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen yük deplasman değerleri ile eğriler oluşturulmuş ve Görsel 3'te verilmiştir. Görsel 3 değerlendirildiğinde geçirimli kazık uygulaması ile güçlendirilmemiş zemine oranla 13.58 kat daha yüksek değerler elde edildiği görülmektedir. Kazık boyu artması ile beraber elde edilen kazanım da artmaktadır. Farklı boylardaki kazıkların çaplarının aynı olması nedeniyle uç kuvvetleri benzer olsa dahi, artan kazık boyuna bağlı olarak zemin

içerisinde sürtünme alanlarının artması nedeniyle daha yüksek taşıma kapasiteleri elde edildiği düşünülmektedir.



Görsel 3.Model yükleme deney sonuçları

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında inşaat yıkıntı atığı agregası ve çimento kullanılarak oluşturulan geçirimli beton elde edilmiştir. Geçirimli beton üzerinde basınç dayanımı ve geçirimlilik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada farklı uzunluktaki geçirimli beton kazıklar model yükleme deney seti ile zemin içerisinde yüke maruz bırakılmıştır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde:

1. İnşaat yıkıntı atığı ve çimento kullanılarak geçirimli beton elde edilebilmektedir. Bununla beraber bu atıkların dönüştürülerek zemin uygulamalarında kullanılması sayesinde, atıkların kısa/uzun vadede insan sağlığını tehdit eden etkilerinin azaltılabileceği düşünülmektedir.
2. Geçirimli kazık ile iyileştirilen zayıf zeminin yük altındaki performansının 13 kata kadar arttırılabildiği ve bu artışın kazık boyu artışı ile beraber 20 kata kadar ulaşabildiği görülmüştür.
3. Geçirimli kazığın zemin içerisinde oluşacak boşluk suyu basınçlarını drenaj kabiliyeti sayesinde sönümlemesi sıvılaşma potansiyellerini de engelleyebilmektedir.
4. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde özellikleri verilen zemin ve kazıklar için geçerli olup, tasarımda tek başına kullanılamaz.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların afetler sonrası ortaya çıkan atıkların dönüştürülmesinde ekonomik ve güvenli bir çözüm yolu sunarak fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Nitekim afet yönetiminde afet sonrası dönemin de sağlıkla ilerlemesi bölge halkı için hayati önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Sakurai, M., & Murayama, Y. (2019). *Information technologies and disaster management: Benefits and issues*. *Progress in Disaster Science*, 2, 100012.

2. He, Y., Zhang, D., & Fang, Y. (2017). *Development of a mobile post-disaster management system using free and open source technologies. International Journal of Disaster Risk Reduction*, 25, 101–110.

3. Doğdu, G., & Alkan, S. N. (2023). *Deprem sonrası oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri*. *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 38–50.

4. Cook, E., Velis, C. A., & Black, L. (2022). *Construction and demolition waste management: A systematic scoping review of risks to occupational and public health*. *Frontiers in Sustainability*, 3, 924926.

5. Whittaker, M. J., Grigoriadis, K., Soutsos, M., Sha, W., Klinge, A., Paganoni, S., & Largo, A. (2021). *Novel construction and demolition waste (CDW) treatment and uses to maximize reuse and recycling*. *Advances in Building Energy Research*, 15(2), 253–269.

6. Ok, B., Sarici, T., Demir, A., Talaslioglu, T., & Yildiz, A. (2023). *Investigation of construction and demolition materials reinforced by geosynthetics*. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability*, 176(5), 285–298.

7. Robayo-Salazar, R. A., Valencia-Saavedra, W., & Mejía de Gutiérrez, R. (2020). *Construction and demolition waste (CDW) recycling as both binder and aggregates in alkali-activated materials: A novel re-use concept. Sustainability*, 12(14), 5775.

8. Jia, J., Chen, H., Yang, M., Zhang, Y., Wu, S., Zhang, Z., & Zhou, Y. (2024*). Reuse of construction and demolition waste (CDW) fines as plant-growing substrate*. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 26(5), 2830–2840.

9. Cañola, H. D., Pérez, Y., Sandoval, G. F., Possan, E., & Lyra, G. P. (2025). *Incorporating construction and demolition waste (CDW) in art and small-scale architectural elements: A sustainable disposal alternative*. *Circular Economy and Sustainability*, 5(2), 1107–1136.

10. Isik, A. (2025). *Experimental study on compressive strength of clay soil stabilized with construction and demolition waste-based geopolymer*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 84, 380. https://doi.org/10.1007/s10064-025-04396-8

11. Yu, X., Ding, G., Peng, A., Liu, Z., Chen, M., Hayano, K., & Kang, X. (2025). *Mechanical stabilization of high-plasticity clay subgrades using CDW-geopolymer composites for*

differential settlement mitigation in highway widening: Laboratory evaluation and numerical modeling. *Results in Engineering*, 107412

12. Hidalgo, C., Carvajal, G., Hincapie, A., Muñoz, F., & Hernández, M. (2023). *Ground improvement by construction and demolition waste (CDW) soil mixture replacement. Buildings,* 13(3), 779.

13. Ok, B., Sarici, T., Talaslioglu, T., & Yildiz, A. (2020). *Geotechnical properties of recycled construction and demolition materials for filling applications. Transportation Geotechnics*, 24, 100380.

14. Özcan, M. (2024). *Vidalı kazıkların zayıf zeminlerde taşıma kapasitesinin deneysel ve sayısal çalışmalarla incelenmesi (Yüksek lisans tezi*). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye

15. Sarici, T. (2019*). Puzolan ile güçlendirilmiş inşaat ve yıkıntı atıklarının granüler dolgu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi (Doktora tezi)*. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KAZIKLI TEMEL SİSTEMLERİNDE KAZIKLAR ARASI MESAFENİN BLOK YÖNTEMİ HESAPLAMALARINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Arş. Gör. Mustafa ÖZCAN
İnönü Üniversitesi,
mustafa.ozcan@inonu.edu.tr - 0000-0001-5745-8694
Dr. Öğr. Üyesi Alper ÖZMEN
İnönü Üniversitesi,
alper.ozmen@inonu.edu.tr - 0000-0003-1335-3780
Doç. Dr. Talha SARICI
İnönü Üniversitesi,
talha.sarici@inonu.edu.tr - 0000-0001-8488-5851

ÖZET

Derin temel sistemleri yapı zeminin geoteknik açıdan yetersiz olduğu durumlarda, yapı yüklerini daha derindeki sağlam tabakalara. Derin temel sistemlerinden olan kazıklı temellerin hesaplamalarında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında yer alan iyileştirilen zemin hacminin bir blok olarak düşünüldüğü yöntemin doğruluğunun kazıklar arası mesafe tarafından nasıl etkilendiğinin araştırılması amacıyla, bu çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde geoteknik araştırmaların tamamlandığı gerçek bir zemin ortamı modellenmiş bu zeminde farklı kazık yerleşimlerinin yük altındaki davranışı incelenmiştir. Hesaplamalarda, kazıklar arası mesafe, kazık çapının (D) 3, 4 ve 5 katı olarak seçilmiş, kazık boyu 14 m ve 28 m olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, blok yönteminin, kazıkların ayrıca modellendiği analizlere oranla, 3D aralık için 2.30 kat, 4D aralık için 1.26 kat ve 5D mesafe için 1.06 kat daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür. Artan derinlik ile beraber kazıklar arası mesafe artsa dahi blok yönteminin daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu bağlamda, blok yöntemi ile yapılan çözümler kazıkların ayrıca modellendiği analizlere oranla daha kısa sürse de blok yönteminin farklı aralıklar için farklı sonuçlar vermesi, ekonomik kayıplara yol açabilmektedir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların, saha uygulamalarında daha doğru güvenlik katsayıları kullanılarak hem zaman hem de ekonomik açıdan kazançlar sağlanması konusunda yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Derin temeller, zemin iyileştirme, blok yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi

2. GİRİŞ

Yapılaşma süreçlerinde yapının inşa edileceği zeminin özelliklerinin yönetmelik/yönergelerce belirlenen yöntemlere göre belirlenmesi gerekmektedir. Gerekli etütler yapıldıktan sonra yapılaşma gerçekleşecek zeminin, yapıdan gelmesi beklenen yüklere karşı yetersiz olması durumunda zemin ıslahı ve/veya derin temel sistemlerinin kullanılması gerekmektedir [1-4]. Derin temel sistemleri yapıdan gelen yükleri daha derin tabakalarda bulunan sağlam zeminlere ileterek yapısal güvenliği arttırmaktadır [5]. Bu sayede, farklı oturmalar, sıvılaşma

potansiyelleri ve taşıma gücü yetersizliklerinin önüne geçmek mümkündür. Derin temel sistemlerinden olan kazıklı temel sistemleri, yapı temeline bağlanabileceği gibi yapı zeminini iyileştirmek üzere yapıdan bağımsız şekilde de imal edilebilir. İnşa edilen kazıkların yan yüzeyleri boyunca sürtünme kuvvetleri ve kazık alt ucunda uç gerilme kuvvetleri meydana gelir [6]. Kazıklar tekil şekilde uygulanabildiği gibi gruplar halinde de uygulanabilirler. Bu bağlamda grup halinde uygulanan kazıklarda kazıklar arası mesafe, kazıkların taşıma performansı üzerinde etkilidir. Öyle ki kazıklar arası mesafe azaldıkça kazık etkileşimleri dolayısıyla kazıklardan elde edilebilecek performans azalabilmektedir [7].
Kazık ve kazık gruplarının taşıma kapasitelerinin hesaplamalarında farklı yöntemler önerilmektedir [8-10]. Bu yöntemler arasında bulunan eşdeğer alan/blok yöntemi iyileştirme yapılan zemin alanı içerisindeki karelajlarda ve/veya iyileştirilen toplam zemin alanı içerisinde kazıklara düşen alanı da hesaba katarak bir zemin modeli önermektedir [9]. Bu gibi uygulamalar özellikle sonlu elemanlar yöntemi çözümlerinde oldukça zaman kazandırmaktadır. Ancak, önceki çalışmalarda gerçekleştirilen hesaplamalarda kazıklar arası mesafe ve kazık boyunun etkisinin yeterince irdelenmediği görülmüştür. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında farklı kazıklar arası mesafe ve derinliklerde modellenen grup kazıklar ile sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirilmiş ve blok yönteminin doğruluğu araştırılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların gelecek literatür çalışmaları için fikir verici olacağı ve saha uygulamalarında ekonomik kazançlar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

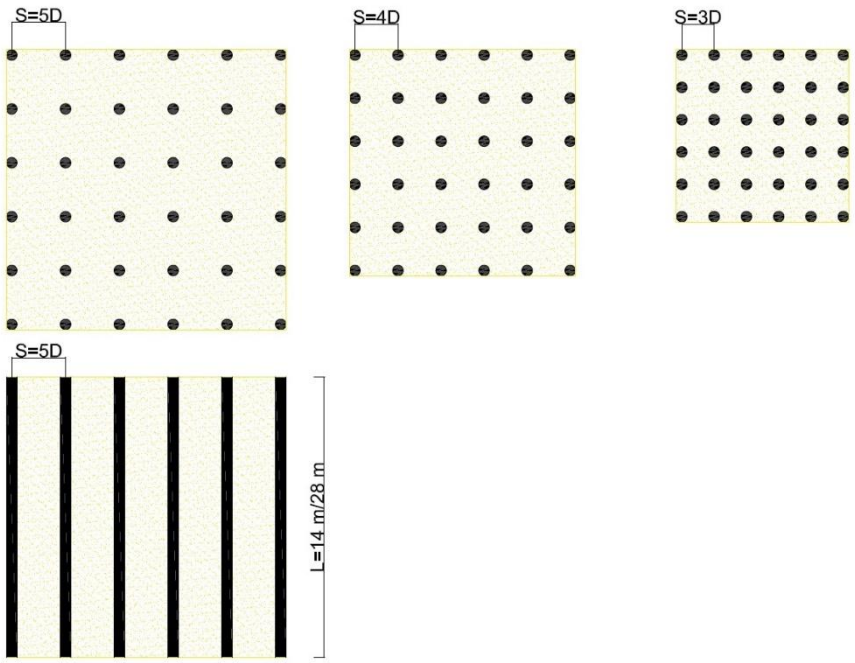
2.1. Sayısal Analiz Modeli

Çalışma kapsamında sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bir paket program kullanılarak özellikleri deneysel çalışmalar ile belirlenmiş bir zemin kullanılarak zemin modeli oluşturulmuştur. Modellemede kazıklar lineer elastik zemin modeli ise Mohr Coulomb modeli ile oluşturulmuştur. Modellemelerde 36 adet kazık, kazıklar arası mesafe kazık çapının (D) 3, 4 ve 5 katı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bununla beraber analizlerde iki farklı kazık ve prizma derinliği (14 m ve 28 m) kullanılmıştır. Sayısal analizlere ait şematik gösterim Görsel 1'de, mesh görüntüleri ise Görsel 2'de görülmektedir Blok yöntemi analizlerinde ise kazık grubunun kapladığı karelajın zemin özellikleri Bağıntı 1 [9] kullanılarak hesaplanmış ve prizmatik olarak modellenmiştir. Farklı kazıklar arası mesafeler için kullanılan parametreler Çizelge 1,2 ve 3'te sunulmuştur.

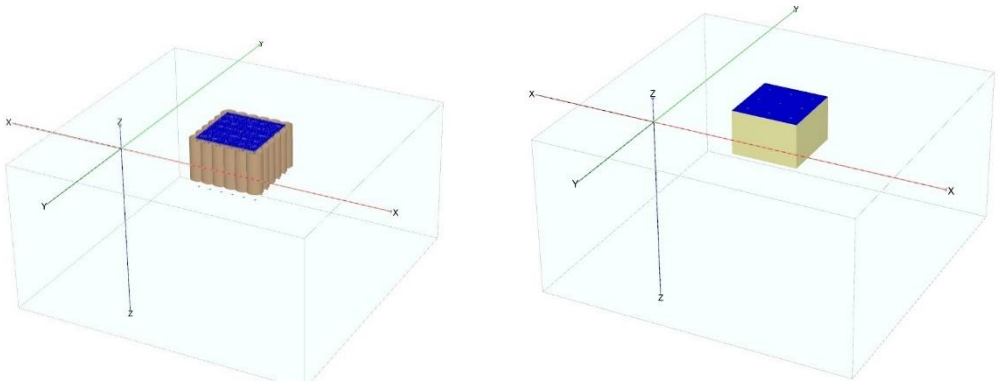
$$E_{eq}=(1-a)\,E_{zemin}+aE_{kazık},\ a=A_{kazık}/A_{toplam} \quad (1)$$

Burada; E_{eq} eşdeğer elastisite modülünü, E_{zemin} zeminin elastisite modülünü, $E_{kazık}$ kazığın elastisite modülünü, a alan oranını ifade etmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 1. Sayısal analizlerin şematik gösterimi



Görsel 2. Sayısal analizlerin mesh görüntüsü sırasıyla kazıklı model ve blok model

Çizelge 1. 3D mesafe için parametreler

Parametre	**Zemin**	**Kazık**	**Blok**
Model	Mohr Coulomb	Lineer Elastik	Mohr-Coulomb
Elastisite modülü (kN/m^2)	25088	3000000	353751.86
Kohezyon (kN/m^2)	37	1500	198.630
İçsel sürtünme açısı (derece)	2	-	2
Alan	145.7392	18.1008	163.84
Birim hacim ağırlık (kN/m^2)	18.85	20	18.97

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 2. 4D mesafe için parametreler

Parametre	**Zemin**	**Kazık**	**Blok**
Model	Mohr Coulomb	Lineer Elastik	Mohr Coulomb
Elastisite modülü (kN/m^2)	25088	3000000	215876.99
Kohezyon (kN/m^2)	37	1500	130.826
İçsel sürtünme açısı (derece)	2	-	2
Alan	264.1392	18.1008	282.24
Birim hacim ağırlık (kN/m^2)	18.85	20	18.92

Çizelge 3. 5D mesafe için parametreler

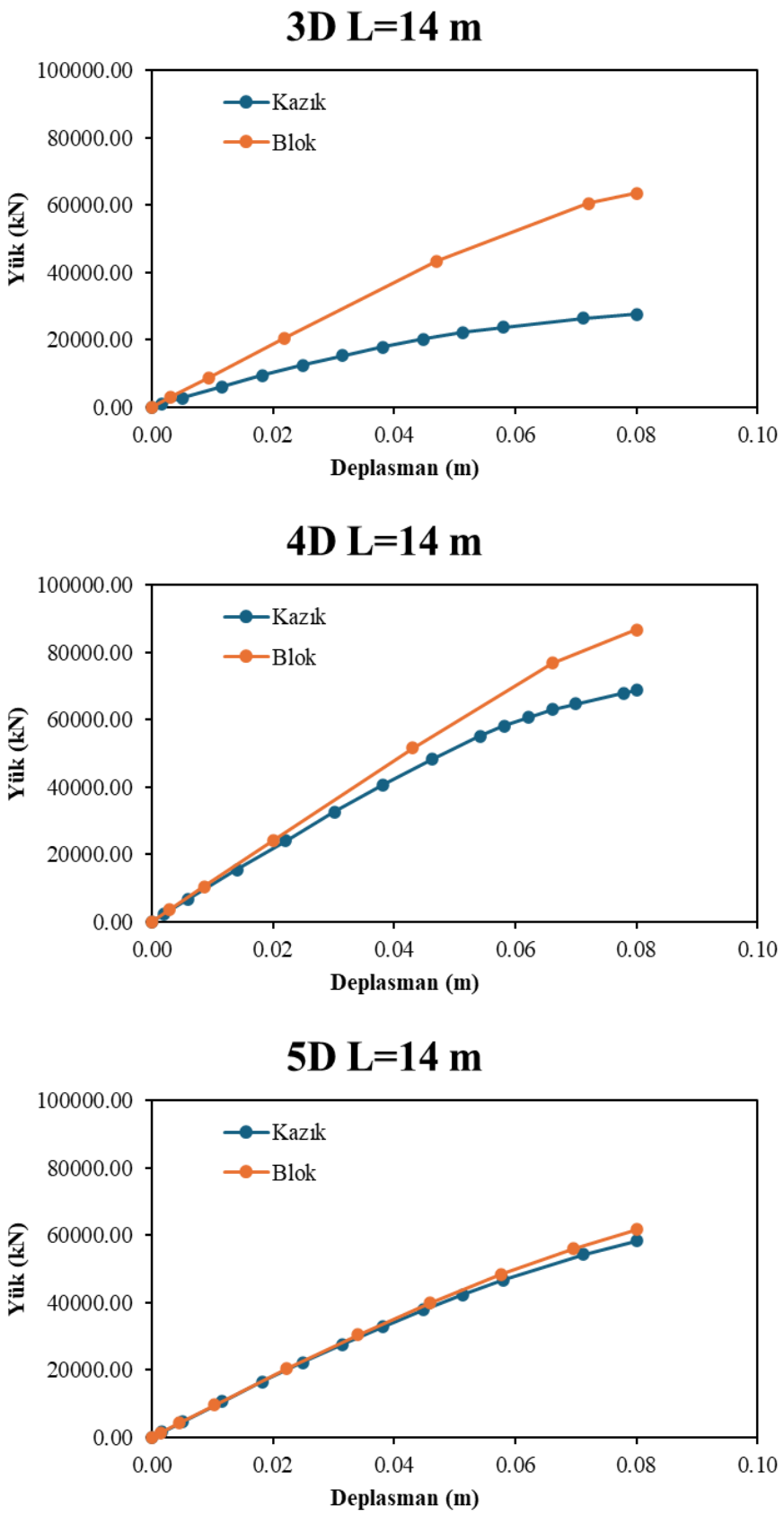
Parametre	**Zemin**	**Kazık**	**Blok**
Model	Mohr Coulomb	Lineer Elastik	Mohr Coulomb
Elastisite modülü (kN/m^2)	25088	3000000	149552.42
Kohezyon (kN/m^2)	37	1500	198.63
İçsel sürtünme açısı (derece)	2	-	2
Alan	414.5392	18.1008	432.64
Birim hacim ağırlık (kN/m^2)	18.85	20	18.89

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında farklı kazıklar arası mesafe (3D, 4D ve 5D) ve farklı derinlikler (14m ve 28 m) derinlik için, sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen elde edilen yük-deplasman değerleri kullanılarak eğriler oluşturulmuştur. 14 m derinlik için elde edilen sonuçlar Görsel 3'te ve 28 m derinlik için elde edilen sonuçlar Görsel 4'te görülmektedir. Sayısal analizlere ait deformasyon görüntüleri ise Görsel 5'te verilmiştir.

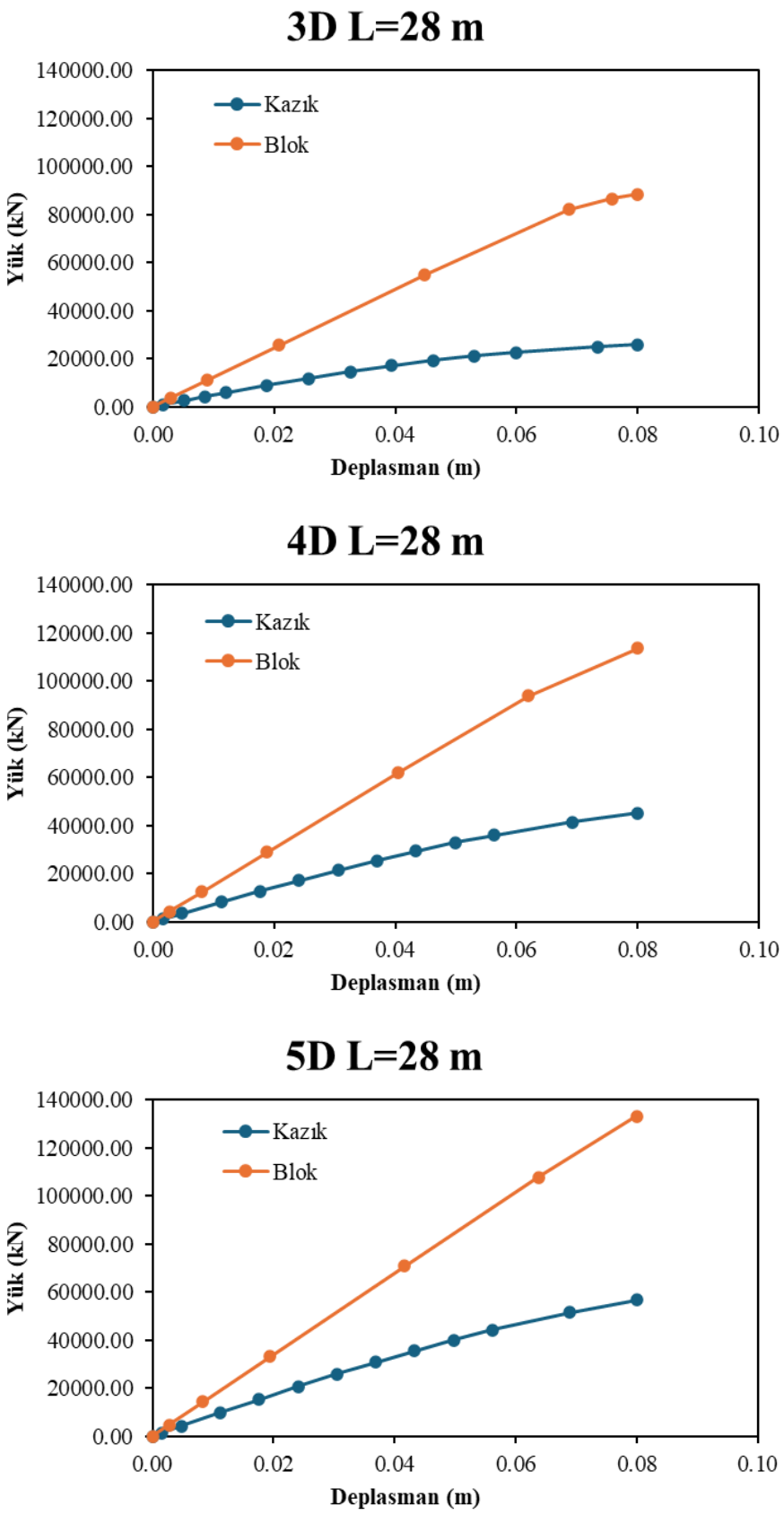
Görsel 3 incelendiğinde blok yöntemi ile gerçekleştirilen analizlerde 14 m derinlik için farklı kazıklar arası mesafelerde farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Blok yöntemi ile elde edilen sonuçlar 3D ve 4D mesafe için kazıklı yerleşime göre oldukça yüksek iken 5D yerleşimde aradaki farkın azaldığı görülmektedir. Ancak 28 m derinlik söz konusu olduğunda (Görsel 4), artan kazıklar arası mesafeye rağmen 5D için dahi yöntemler arasındaki fark oldukça yüksektir. Zemin içerisinde analizlerde benzer gerilme bölgeleri gözlemlense dahi (Görsel 5) artan derinliğe bağlı olarak blok yönteminin kapladığı hacmin büyümesi, aradaki farklılaşma miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



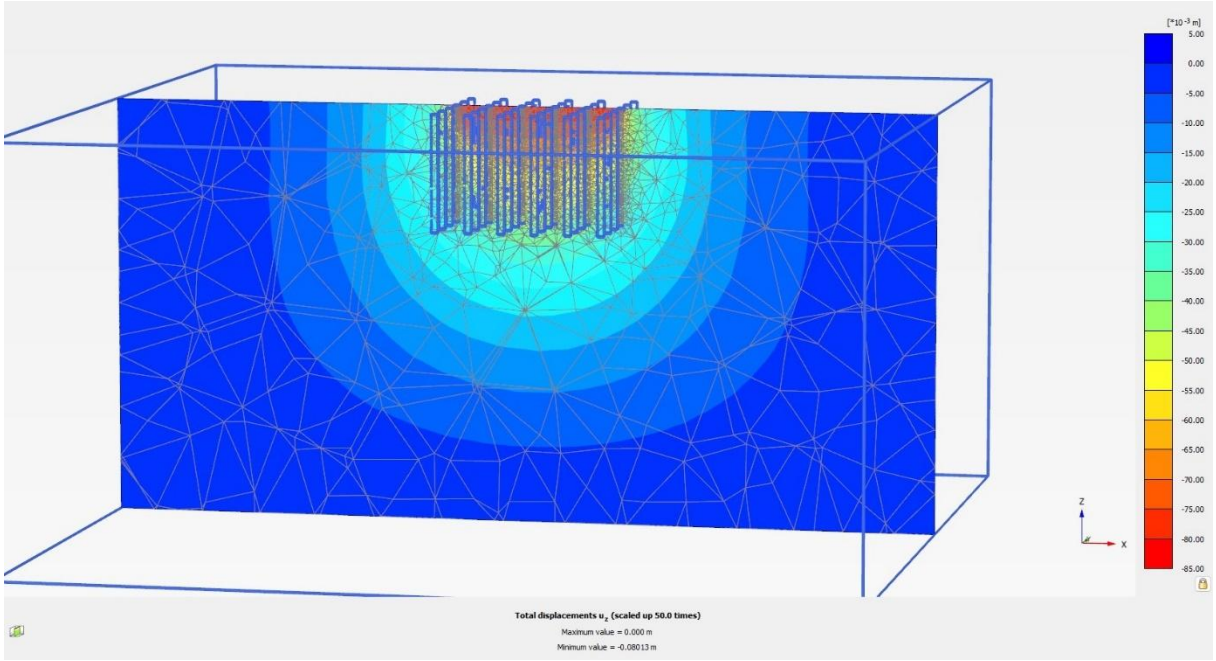
Görsel 3. 14 m derinlik için sayısal analiz sonuçları

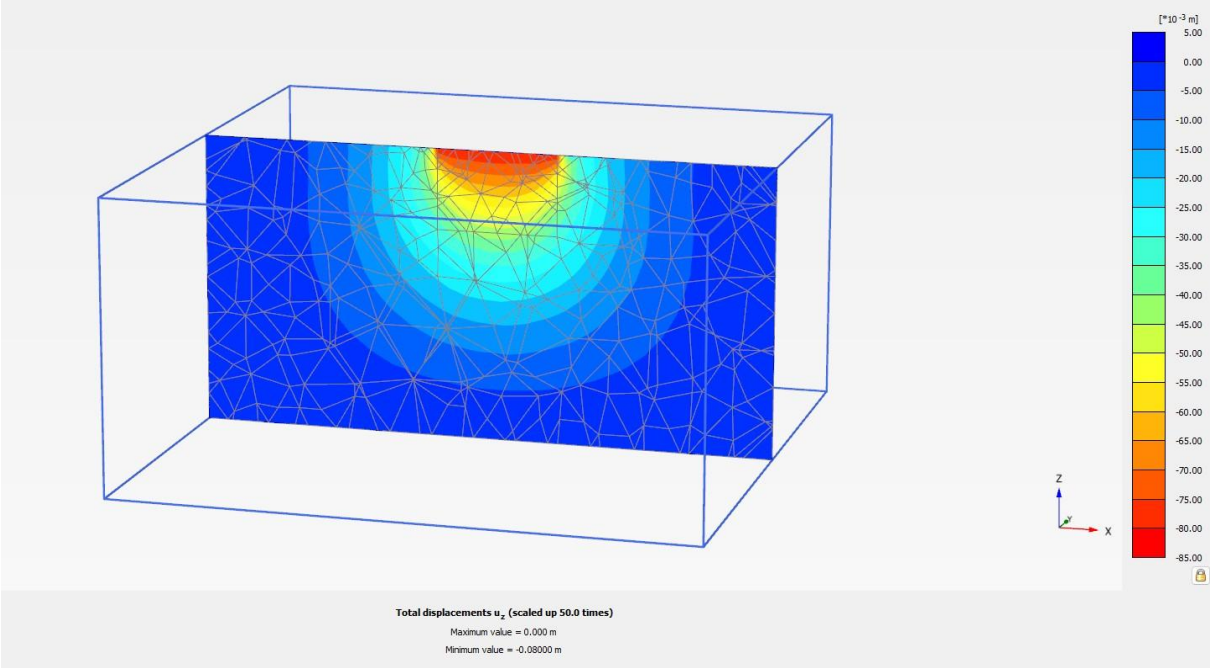
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 4. 28 m derinlik için sayısal analiz sonuçları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1





Görsel 5.Zemin içerisinde oluşan gerilme alanları sırasıyla kazıklı yerleşim ve blok yöntemi

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında farklı derinlik ve kazıklar arası mesafeye sahip kazık sistemleri için eşdeğer alan/blok yönteminin sonuçlarının doğruluğunu araştırmak üzere sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eğriler ve sayısal analiz çıktıları kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilebilir:

5. Eşdeğer alan/blok yöntemi analizleri kazıkların ayrıca modellenmesine oranla önemli ölçüde kısaltmaktadır. Her iki yöntem için de zemin içerisindeki gerilme davranışı benzerdir. Ancak deplasmana karşılık yük değerlerinde farklılaşmalar görülmektedir.
6. Her iki yöntemde de birbirine en yakın sonuçlar 5D mesafe için elde edilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde kazıklar arası mesafe küçüldükçe aradaki farkın arttığı görülmüştür. Bu bağlamda, proje ihtiyaçlarına göre yapılacak hesaplamalarda güvenlik katsayılarının farklılaşması gerektiği düşünülmektedir.
7. Artan derinlik ile beraber eşdeğer alan/blok yöntemi için modellenen zeminin hacmi büyümesi dolayısıyla elde edilen yük değerlerinin daha da farklılaştığı görülmektedir. Ancak bu durumda da artan kazıklar arası mesafenin aradaki farkı azalttığı görülmüştür.
8. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar önceki bölümlerde özellikleri verilen zemin ve kazıklar için geçerli olup, tasarımda tek başına kullanılamaz.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların ileri çalışmalar için temel oluşturarak; eşdeğer alan/blok yönteminin kullanımında doğru katsayıların tercih edilmesi hususunda önemli bilgiler içerdiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Anburuvel, A., The engineering behind soil stabilization with additives: a state-of-the-art review, Geotechnical and Geological Engineering, 42 (1), 1–42, 2024.

2. Ren, J. ve Sun, X., Prediction of ultimate bearing capacity of pile foundation based on two optimization algorithm models, Buildings, 13 (5), 1242, 2023.

3. Tang, L., Cui, Y., Chen, J., Yang, G., Sun, S., Li, G., … ve Jia, H., Analysis and research on the difference of design codes for vertical bearing capacity of pile foundation in cold regions, Cold Regions Science and Technology, 206, 103723, 2023.

4. Sarici, T. ve Ozcan, M., Investigation of screw pile behavior in cohesive soil under uplift and compressive forces by experimental studies and numerical analyses, Arabian Journal for Science and Engineering, 50 (16), 12859–12880, 2025.

5. Kumar, M., Kumar, D. R., Khatti, J., Samui, P. ve Grover, K. S., Prediction of bearing capacity of pile foundation using deep learning approaches, Frontiers of Structural and Civil Engineering, 18 (6), 870–886, 2024.

6. Poulos, H. G. ve Davis, E. H., Pile Foundation Analysis and Design, Wiley & Sons, Chichester, Sussex, England, 1980.

7. Sarici, T. ve Ozcan, M., Evaluation of the behavior of screw pile groups in clay soils under compressive and uplift forces, Geomechanics and Engineering, 41 (5), 543, 2025.

8. Momeni, E., Nazir, R., Armaghani, D. J. ve Maizir, H., Prediction of pile bearing capacity using a hybrid genetic algorithm-based ANN, Measurement, 57, 122–131, 2014.

9. Liu, B., Feng, X. ve Zhang, S. M., The effective Young's modulus of composites beyond the Voigt estimation due to the Poisson effect, Composites Science and Technology, 69 (13), 2198–2204, 2009.

10. Sawant, V. A., Shukla, S. K., Sivakugan, N. ve Das, B. M., Insight into pile set-up and load carrying capacity of driven piles, International Journal of Geotechnical Engineering, 7 (1), 71–83, 2013.

11. Fattahi, H., Ghaedi, H., Malekmahmoodi, F. ve Armaghani, D. J., Optimizing pile bearing capacity prediction: Insights from dynamic testing and smart algorithms in geotechnical engineering, Measurement, 230, 114563, 2024.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BİNA ENERJİ SİMÜLASYONLARINDA KALİBRASYON ARAÇLARININ GELİŞİMİ VE GELECEK PERSPEKTİFİ

Arş. Gör. Feyza YILMAZ
Ostim Teknik Üniversitesi
feyza.yilmaz@ostimteknik.edu.tr - 0000-0002-1804-4891

Prof. Dr. İdil AYÇAM
Gazi Üniversitesi
iaycam@gazi.edu.tr - 0000-0001-7170-5436

Prof. Dr. Asena SOYLUK
Gazi Üniversitesi
asenad@gazi.edu.tr - 0000-0002-6905-4774

ÖZET

Bina enerji simülasyonları (BES) artan enerji maliyetleri, iklim değişikliğiyle mücadele ve karbon salımının azaltılması gibi küresel hedefler doğrultusunda bina enerji modellerinin (BEM) enerji kullanımını simüle etmek ve değerlendirmek için kullanılmaktadır. BES, sürdürülebilir mimari tasarım uygulamaları doğrultusunda gerekli olan enerji tasarrufu stratejilerinin değerlendirilmesi ve uygulanması açısından önemli araçlar olarak öne çıkar. Fakat BES, çevresel verileri bütüncül değerlendirmede önemli bir analiz aracı olsa da modellerin doğruluğu ve güvenilirliği, kullanılan verilerin yetersizliği belirsizliği, eksikliği veya yanlış varsayımlar nedeniyle çoğu zaman sınırlı kullanım alanına sahiptir. BEM veya kentsel bina enerji modeli (UBEM) için yapılan enerji simülasyonlarındaki veri eksiklikleri gerçek verilerin sonuçlarından sapmaya yol açmaktadır. Bu nedenle, simülasyon sonuçlarının gerçek bina ölçümleriyle eşleşmesini sağlama işlemi olan kalibrasyonun tüm modellerde gerçekleştirilmesi önemli bir aşamadır. Kalibrasyon aşamasında, bina simülasyonunun kalibre edilmiş olarak sayılabilmesi için ayrıca bir performans değerlendirme kriterine ihtiyaç duyulmaktadır. BES, genellikle American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği, ASHRAE) tarafından yayımlanan ASHREA Kılavuz 14-2023'te belirtilen kriterleri karşılaması durumunda kalibre edilmiş olarak kabul edilmektedir. Ancak günümüzde kalibrasyon süreçlerinin yönetilmesi için gerekli olan kriterler, standartlar mevcut durumda yetersiz ve eksik kalmaktadır. Yapılan çalışma, BES'in tasarım sürecindeki önemini ve kalibrasyon süreçleriyle ilişkisini değerlendirerek; eksik yönlerine gelecek perspektifinden bir bakış sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Simülasyonu, BEM, UBEM, Kalibrasyon, Sürdürülebilirlik

1. GİRİŞ

Bina enerji simülasyonları (BES), sürdürülebilir mimari tasarım ve enerji verimliliği hedeflerinin gerçekleştirilmesinde temel araçlar olarak öne çıkmaktadır. Artan enerji maliyetleri, iklim değişikliğiyle mücadele ve karbon salımının azaltılması gibi küresel hedefler, binaların enerji performansının bütüncül ve güvenilir biçimde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Vera-Piazzini & Scarpa, 2023; Chong *et al*., 2021). Bina enerji simülasyonları, tasarım kararlarının enerji tüketimi verilerine etkisini öngörmek, enerji tasarrufu önlemlerinin etkisini incelemek ve bina operasyonlarını optimize etmek amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (Coakley *et al*., 2014).

BES çok sayıda veri parametresini bir arada değerlendirilen kapsamlı bir değerlendirmedir. Ancak simüle edilen veriler ve gerçek enerji veriler arasındaki tutarsızlıklar, girdilerdeki belirsizlikler, bina modellerinde sistemlerin basitleştirilmesi gibi faktörlerden dolayı model doğruluğu ve güvenilirliği azalabilmektedir (Chong *et al*., 2021; Coakley *et al*., 2014). Verilerin karmaşıklığından dolayı da bazı uygulamalarda veri setlerinin sınırlandırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Erken tasarım aşamasında gerçekleştirilen duyarlılık analizleri sayesinde, tasarımcıların etki derecesi en yüksek verilere odaklanmaları mümkün olabilmektedir. Duyarlılık analizi, enerji simülasyon modellerinde kullanılan giriş parametrelerinin model çıktısı üzerindeki etkisini sistematik olarak incelemekte ve hangi parametrelerin enerji performansı açısından en belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır (Saltelli *et al*., 2008). Bu yaklaşım, modelleme sürecinde gereksiz detaylardan kaçınılarak ve modelin sadeleştirilmesini sağlamakta; böylece hem hesaplama maliyetleri hem de zaman açısından verimli bir kalibrasyon sürecinin yürütülmesine olanak sağlamaktadır (Saltelli *et al*., 2008; Chong *et al*., 2021).

Verimli bir kalibrasyon süreci, bina sektörü kaynaklı karbon salınımının azaltılabilmesi açısından kritik adımlardan biridir. Ancak uzun vadede, bina sektöründen kaynaklanan emisyonlarda azalma eğiliminin devam etmesi beklense de (European Environment Agency, 2024) iklim verilerindeki belirsizlikler emisyonlarda azalma eğilimini sekteye uğratabilmektedir. Bu nokta, belirsiz verilerin neden olduğu uyumsuzlukların önüne geçmek ve BES sonuçlarının gerçek bina ölçümleriyle eşleşmesini sağlayabilmek için güncel kalibrasyon araçlarının kullanımı önem kazanmaktadır. Çalışma, BEM simülasyonlarının tasarım sürecindeki rolünü kalibrasyon araçlarının gelişimi bağlamında ele alarak, süreçte gerekli iyileştirmelere yönelik geleceğe dönük bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

2. BİNA ENERJİ SİMÜLASYONLARI

Bina Enerji Simülasyonu (BES), bir binanın ısıtma, soğutma, havalandırma ce aydınlatma gibi enerji tüketimlerini; iklim verileri, yapı kabuğu özellikleri, kullanıcı davranışları ve sistem performansları üzerinden zamana bağlı olarak hesaplayan sayısal modelleme ve analiz yöntemidir (Yoro *et al*., 2021). BES verilerinden elde edilen sonuçların doğruluğunu kanıtlamak için gerçek veriler ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma sürecine ‘benchmarking’ denir. Benchmarking için farklı yöntemler bulunsa da kullanılan en yaygın yöntem BES’tir. EnergyPlus, TRNSYS, OpenStudio, DesignBuilder, IES VE ve IDA ICE gibi araçlar, BES’te yaygın olarak kullanılmaktadır (Gao *et al*., 2019). BES, iklim değişikliği etkilerinin ve karbon salımının azaltılması gibi küresel hedefler doğrultusunda bina enerji

modellerinin (BEM) veya kentsel bina enerji modellerinin (UBEM) enerji kullanımını simüle etmek ve değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

2.1. Bina Enerji Simülasyonları için Modelleme Yaklaşımları

BES kapsamında modeller hem bina ölçeğinde (BEM) hem de kentsel ölçekte (UBEM) yapılabilmektedir. BES'te kullanılan iki modelleme yaklaşımı vardır; top-down ve bottom-up (Swan & Ugursal, 2009). Top-down yaklaşımında, bina makro ölçekte ele alınmakta ve analiz süreci kademeli olarak detaylandırmaktadır, Bottom-up yaklaşımında ise öncelikle ayrıntılı bileşenler modellenmekte, ardından bu bileşenler bir araya getirilerek bütüncül yapı oluşturulmaktadır. Bottom-up yaklaşımı daha yüksek ayrıntı seviyesi sağlar ve daha doğru enerji tahminleri üretir (Ali *et al*., 2021; Vera-Piazzini & Scarpa, 2023).

Bottom-up yaklaşımı ayrıca fiziksel model (white-box), istatiksel model (black-box), hibrit model (grey-box) olmak üzere üç alt başlık altında ele alınmaktadır. Fiziksel model (white-box) binanın termodinamik ve fiziksel özelliklerine dayalı matematiksel modeller ve gerçek ölçüm verilerinin (sensörler, faturalar vb.) modelidir. En çok kullanılan yazılımlar arasında EnergyPlus, TRNSYS ve OpenStudio vardır. İstatistiksel model (black-box) binanın fiziksel özellikleri bilinmediğinde, geçmiş enerji tüketim verileri ve istatistiksel/makine öğrenimi (Machine Learning/ML) yöntemleri ile verilerin belirlendiği modellerdir. En yaygın kullanılan NSGA-II, GA, ANN ve RF algoritmalarıdır. Hibrit model (grey-box) ise, fiziksel ve istatistiksel modellerin birlikte kullanıldığı hibrit bir yaklaşımdır. Model hem ayrıntılı fiziksel veriye hem de geçmiş verilere sahip olduğu için avantajlıdır (Ali *et al*., 2021; Vera-Piazzini & Scarpa, 2023).

2.2. Bina Enerji Simülasyonlarının Gelişimi

Yazılım tekniklerinin ve algoritmaların gelişimiyle BES araçları dinamik bir şekilde devamlı gelişim göstermektedir. Simülasyon araçlarının durağandan, yarı durağan ve dinamik sistemlere geçişi, bina enerji performansının değerlendirilmesi açısından önemli adımlardandır. Bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1'de detaylandırılmaktadır.

Çizelge 1. Simülasyon araçlarının gelişimi (Kotarela *et al*., 2023)

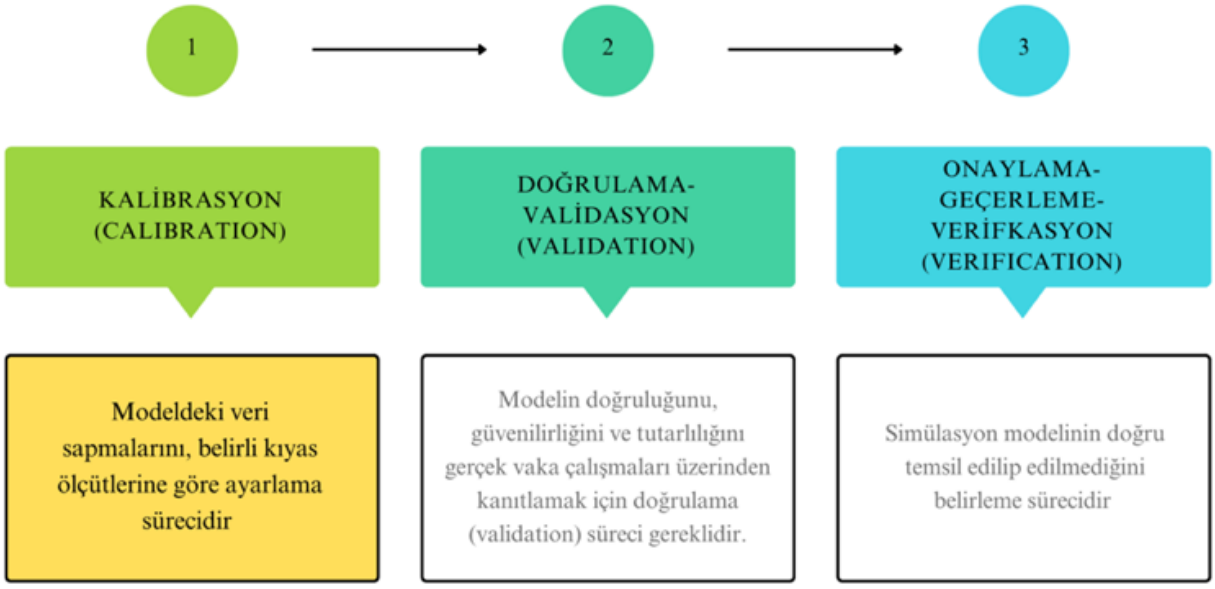
	Yaklaşım	Avantajlar	Dezavantajlar	Örnek Kullanımlar
Durağan Yöntemler	-Aylık iklim verileriyle çalışır. -Isıl kütle ve ısı depolama etkileri ihmal edilir.	-Uygulaması kolaydır. -Temel hesaplamalar için yeterlidir.	-Dinamik değişimler dikkate almaz. -Düşük doğruluğa sahiptir.	Derece-gün metodu, Bin metodu, Basit ofis binaları analizleri
Yarı Dinamik Yöntemler	-Ortalama iç sıcaklıklar varsayılır. -Kullanıcı konforu ve sistem zamanlaması standart değerlerle tanımlanır.	-Gerçek koşulları kısmen temsil eder. -Uygulama süresi kısadır.	-Gerçek zamanlı veriler sınırlıdır. -Kısıtlı dinamik temsile sahiptir.	TEE-KENAK, EPA-NR, Enerji kimlik belgesi düzenlemeleri

	Yaklaşım	Avantajlar	Dezavantajlar	Örnek Kullanımlar
Dinamik Yöntemler	-Saatlik veya belirlenen zaman adımlarıyla çalışır. -Fiziksel prensiplere dayalı ayrıntılı simülasyonlar yapılır.	-Yüksek doğruluğa sahiptir. -Gerçek kullanıcı davranışları ve sistem tepkileri simüle edilebilir.	-Yüksek teknik bilgi ve işlem gücü gerekir. -Uygulama süresi uzundur.	EnergyPlus, DOE-2, TRNSYS, DesignBuilder, IES VE, IDA ICE

Durağan yöntemler, aylık iklim verilerine dayalı basitleştirilmiş hesaplamalar sunar; uygulaması kolay olmakla birlikte dinamik etkileri dikkate almadığından doğruluk düzeyi düşüktür. Yarı dinamik yöntemler, ortalama iç koşullar ve standart varsayımlar üzerinden sınırlı dinamik temsil sağlar; uygulama süresi kısa olup enerji performansı mevzuat çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Dinamik yöntemler, saatlik zaman adımlarıyla fiziksel prensiplere dayalı ayrıntılı simülasyonlar gerçekleştirir; yüksek doğruluk sunar ancak daha fazla teknik bilgi ve hesaplama gücü gerektirmektedir (Kotarela *et al*., 2023).

3. BİNA ENERJİ SİMÜLASYONLARINDA KALİBRASYON

BES temel olarak Kalibrasyon, Doğrulama ve Onaylama olarak üç süreç (Görsel 1) ile yönetilmektedir. (Reddy *et al*., 2007; Coakley *et al*., 2014; S. Zuhaib *et al*., 2019; Chong *et al*., 2021; Vera-Piazzini & Scarpa, 2023). Kalibrasyon modeldeki veri sapmalarını, belirli kıyas ölçütlerine göre ayarlama sürecidir (Vera-Piazzini & Scarpa, 2023). Doğrulama, modelin doğruluğunu ve tutarlılığını gerçek vaka çalışmaları üzerinden kanıtlamak için gereklidir. Tutarlılık düzeyine göre altı doğruluk seviyesi tanımlanmaktadır (Reddy *et al*., 2007; Zuhaib *et al*., 2019). Onaylama ise modelinin doğru temsil edilip edilmediğini belirleme sürecidir (Vera-Piazzini & Scarpa, 2023).



Görsel 2. BES kapsamında yer alan temel süreçlerin şematik gösterimi (Reddy *et al*., 2007; Coakley *et al*., 2014; Zuhaib *et al*., 2019; Chong *et al*., 2021; Vera-Piazzini & Scarpa, 2023)

Simülasyon uygulamalarında model doğruluğu ve güvenilirliği, çoğunlukla parametre belirsizliklerine ve model kalibrasyonundaki eksikliklere bağlı olarak değişmektedir. Tutarsızlıkların giderilmesi noktasında, model çıktılarının gerçek ölçümlerle uyumlu hale getirilebilmesi için kalibrasyon süreçleri kritik öneme sahiptir (Vera-Piazzini & Scarpa, 2023). Kalibrasyon, BES sonuçlarının gerçek bina ölçümleriyle eşleşmesini sağlamak için uygun veri setinin belirlenmesi sürecidir.

Tipik bir kalibrasyon süreci için iki veri seti gereklidir; simüle edilmiş girdi verileri ve gerçek bina verileri. Analizlerde kullanılacak verilerin seçimi ise yapılacak duyarlılık analizleri ile belirlenmelidir. Duyarlılık analizi karar verme aşamasında parametrelerin önem derecesini belirler ve parametrelerin tüm olasılıklarının değerlendirilmesini sağlar. Bu sayede çok yüksek veriye sahip modellerde basitleştirmeler gerçekleştirilebilir ve optimum performans düzeyine ulaşılabilir. Duyarlılık analizleri, genellikle yerel duyarlılık analizi (LSA) ve küresel duyarlılık analizi (GSA) olarak iki ana grupta incelenmektedir. LSA, parametrelerin tek tek değiştirildiği ve diğer tüm değişkenlerin sabit tutulduğu bir yaklaşım sunarken; GSA, parametrelerin tüm olasılık dağılımları üzerinden birlikte değerlendirilmesini sağlar. Morris Yöntemi, Sobol' Yöntemi, Monte Carlo / Quasi-RandomSampling yöntemi GSA'lerden bazılarıdır (Calama-González *et al*., 2020). Bu yöntemlerin kullanımı, özellikle sürdürülebilir bina tasarımı, erken tasarım kararlarının optimizasyonu ve enerji verimliliğinin artırılması açısından literatürde yaygın olarak yer bulmuştur (Nguyen *et al*., 2015; Calama-González *et al*., 2020). Duyarlılık analizi, erken tasarım aşamasında, kalibrasyondan önce önemli bir adımdır. Daha sonrasında ise uygulanacak kalibrasyon tekniğine karar verilmelidir.

Kalibrasyon teknikleri manuel ve otomatik teknikler olarak iki ana gruptan oluşturmaktadır (Coakley *et al*., 2014; Chong *et al*., 2021). Manuel kalibrasyon, kullanıcının uzmanlığına, kriterlerine dayalıdır ve etkileşimli deneme yanılma yöntemlerine dayanmakta iken; otomatik kalibrasyon, genellikle ölçülen ve simüle edilmiş veriler arasındaki farkı en aza indirmek için çoğunlukla optimizasyon algoritmalarını kullanan matematiksel ve istatistiksel yöntemlere dayanmaktadır (Cornaro *et al*., 2019). Manuel veya otomatik kalibrasyonda kullanılan veriler farklı kaynaklardan geldiği zaman biçim ve adlandırma farklılıklarından dolayı modelin belirsizliğini arttırmaktadır (Sokol *et al*., 2017). Bu noktada veri belirsizliklerini gidermek ve güvenilirliğini arttırmak için yeni yöntemlerle otomatik kalibrasyon araçları devamlı olarak geliştirilmektedir. Sıklıkla kullanılan otomatik kalibrasyon tekniklerinden bazıları Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Otomatik kalibrasyon teknikleri (Coakley *et al*., 2014)

	Kısaltma	**Teknik Adı**	**Açıklama**
Optimizasyon teknikleri	BAYES	Bayesian Calibration (Bayesyen Kalibrasyon)	Girdi dağılımlarına dayalı olarak belirsizliği doğal şekilde hesaba katan istatistiksel bir kalibrasyon yaklaşımıdır.
Alternatif modelleme teknikleri	OBJECTIVE/ PENALTY	Objective/Penalty Function (Amaç/Fayda Fonksiyonu)	Ölçülen ve simüle edilen veriler arasındaki farkı en aza indirmek için kullanılan optimizasyon fonksiyonlarını içerir.

Kısaltma	Teknik Adı	Açıklama
ANN	Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları)	Girdi-çıktı ilişkilerini modellemek veya verilerdeki desenleri belirlemek için kullanılan birbirine bağlı yapay nöronlardan oluşan hesaplama modelleridir.
PSTAR	Primary&Secondary Term Analysis and Re-normalisation (Birincil/İkincil Terim Analizi ve Yeniden Normalizasyon)	Kısa süreli ölçüm verileriyle bina parametrelerinin tahmini ve ısı akışlarının enerji dengesi denklemini sağlaması için yeniden normalize edilmesini içerir.
META	Meta Modelling (Meta Modelleme)	Karmaşık mühendislik modellerini taklit eden ve daha hızlı çalışan analitik vekil modellerin kullanımıdır.

Bayesyen kalibrasyonu, girdi parametrelerinin olasılık dağılımlarını dikkate alarak belirsizliği doğal biçimde modele dâhil ederken; amaç/fayda (objective/penalty) fonksiyonları, simülasyon çıktıları ile ölçüm verileri arasındaki sapmayı azaltmaya yönelik optimizasyon süreçlerinde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları, karmaşık girdi–çıktı ilişkilerini öğrenerek kalibrasyon sürecini hızlandıran veri tabanlı bir yaklaşım sunarken; PSTAR yöntemi, kısa süreli ölçümler aracılığıyla bina parametrelerinin tahmin edilmesini ve enerji dengesi denklemlerinin yeniden normalize edilmesini sağlar. Meta modelleme ise ayrıntılı mühendislik modellerinin davranışını temsil eden hızlı çalışan vekil modeller aracılığıyla kalibrasyon sürecinin hesaplama yükünü azaltmaktadır.

3.1. Kalibrasyon Tekniklerinde Güncel Yaklaşımların İncelenmesi

Otomatik kalibrasyon tekniklerindeki gelişmeler, kalibrasyonun hızını ve doğruluğunu artırırken, farklı modelleme ihtiyaçlarına esnek çözümler sunmaktadır (Coakley *et al*., 2014). BES kalibrasyonu, özellikle son yıllarda hızla gelişen otomatik kalibrasyon yöntemleri (ileri algoritmalarla optimizasyon, ML vb.) ile desteklenmektedir. İlgili literatürdeki çalışmalar optimizasyon algoritmaları ve bayesyen kalibrasyonun, mevcut otomatik kalibrasyon yöntemleri arasından en etkili yöntemler olduğunu belirtilmektedir (Chen *et al*., 2019; Zhu *et al*., 2020). Bunun yanı sıra, otomatik kalibrasyon yöntemlerinden optimizasyon algoritmaları (genetik algoritma, NSGA-II) kalibrasyonu hızlandırırken (Pachano&Bandera, 2021; Zhou, 2024), bayesyen kalibrasyon belirsizlikleri azaltmayı amaçlamasına rağmen büyük veri işleme sürecinin uzun ve maliyetli olması dezavantaj olarak görülmektedir. (Chong *et al*., 2019; Eneyew *et al*., 2024).

Büyük veriler ve maaliyetler ile ilgili sorunlara bir çözüm olarak literatürde son yıllarda ortaya çıkmış bir yaklaşım da Yaklaşık Bayesyen Hesaplama (Approximate Bayesian Computation/ABC) yöntemi ve ML teknolojisinin birlikte kullanıldığı çalışmalardır. ABC,

klasik Bayesyen yöntemlerin yüksek hesaplama yükünü azaltmak için kullanılan bir yöntemdir. Bayesyen yaklaşımlarda, bilinmeyen parametrelerin art dağılımlarını (posterior distributions) elde etmek için modellerden elde edilen olasılık (likelihood) fonksiyonlarının hesaplanması gerekmektedir. Ancak, dinamik BES'lerin çoğunda olasılık fonksiyonları doğrudan hesaplanamaz. (Beaumont; 2018; Zhu *et al*., 2020). ABC olasılık fonksiyonu hesaplamaya gerek kalmadan art dağılımların elde edilmesini sağlar (Lintusaari *et al*., 2016; Zhu *et al*., 2020). Bu sayede ML teknikleri, ABC yönteminin uygulama alanını genişletmektedir ve BES kalibrasyonunda belirsizlikleri dikkate alan, uygulanabilir ve hesaplama açısından verimli bir yaklaşım sunmaktadır.

ML yöntemleri, BES uygulamalarında enerji tahmini, talep yönetimi ve iyileştirme stratejileri gibi alanlarda büyük ilerleme sağlasa da başka bir açıdan modellerin karmaşıklığını, anlaşılabilirliklerini azaltmakta ve paydaş güvenini zedeleyebilmektedir. Bu soruna çözüm olarak geliştirilen Açıklanabilir Yapay Zekâ (Explainable Artificial Intelligence/XAI), ML modellerinin şeffaflığını artırmakta ve çıktılarının daha anlaşılır hale gelmesini sağlamaktadır. XAI yapay zekâ sistemlerinin karar mekanizmalarının kullanıcılar tarafından anlaşılabilir, izlenebilir ve gerekçelendirilebilir hâle getirilmesini amaçlayan yöntemler bütünüdür. XAI, şehir planlamacılarından mühendis ve mimarlar kadar farklı disiplinlerden kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun içgörüler elde etmelerine olanak sağlayan yenilikçi bir yaklaşımdır (Darvishvand *et al*., 2025).

Tüm bu yenilikçi yaklaşımlardan seçilen yöntem ne olursa olsun, verilerin kalibre edilmiş olarak kabul görmesi için BES verilerinin ayrıca belirli standartları sağlaması gerekmektedir. Günümüzde, BES'in kalibre edilmiş olarak kabul edilmesi genellikle American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği/ASHRAE) tarafından yayımlanan ASHREA Kılavuz 14-2023'te belirtilen kriterleri karşılamasına bağlıdır. Ayrıca Kalibrasyon yöntemleri International Performance Measurement and Verification Protocol (Uluslararası Performans Ölçüm ve Doğrulama Protokolü /IPMVP) ve Federal Energy Management Program (Federal Enerji Yönetimi Programı/FEMP) standartları ile de değerlendirilebilmektedir (Yang *et al.,* 2016; Chong *et al.,* 2021; Dal *et al.,* 2023).

BES verilerinin kalibre edilmiş olarak değerlendirilebilmesi için, standartları karşılayıp karşılamadığının incelendiği performans değerlendirmesine tabi tutulması gerekir. Değerlendirmede kullanılan başlıca üç kriter şunlardır; Normaised Mean Bias Error (Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası (NMBE) (%)), Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) (%)), Coefficient of Variation of RMSE (RMSE Değişim Katsayısı (CV(RMSE)) (%)). NMBE, ölçülen ve simüle edilen veriler arasındaki ortalama sapmayı ifade ederek modelin genel yanlılığını ortaya koyar; ancak pozitif ve negatif hataların birbirini dengelemesi nedeniyle tek başına yeterli bir ölçüt değildir. RMSE, hata büyüklüklerine daha duyarlı olup tahmin hatalarının dağılımını yansıtırken; CV(RMSE), RMSE'nin ölçülen değerlere oranlanmasıyla elde edilir ve iptal etkisinden bağımsız olarak modelin veriye uyum düzeyini daha güvenilir biçimde gösterir. Ancak değerlendirilen verilerin büyüklüğü, bina analiz süresinin uzamasına ve BES'te hatalara sebebiyet verebilmektedir. (Coakley *et al.,* 2014; Yang *et al.,* 2016; Chong *et al.,* 2021)

4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

BES analizlerinin gerçekleştirileceği modellerden, hibrit model (grey-box) hem ayrıntılı fiziksel veriye hem de geçmiş verileri birlikte değerlendirmesi açısından daha güvenilir ve avantajlıdır. BEM ve UBEM simülasyonlarının güvenilirliğinin artması için de kalibrasyon önemli bir süreçtir. BEM ve UBEM kalibrasyonunda büyük verilerin doğrulaması güçleştiği aşamada model basitleştirme teknikleri için duyarlılık analizleri uygulanmalı ve verilerin doğru sonuçlar verebilmesi için de yönetmelikler ve standartlar geliştirilmelidir. Veriler farklı kaynaklardan geldiği zaman, biçim ve adlandırma farklılıklarından dolayı modelin belirsizliği artmaktadır.

BES'teki veri sorununu gidermeye yönelik kalibrasyon tekniklerinin güncel verilerle uyumlu ve dinamik hâle getirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden de otomatik kalibrasyon araçları, dinamik bir altyapıya sahip olmaları ve veri setleri arasındaki farkı en aza indirmede etkin olmaları nedeniyle günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde BEM üzerine yapılan kalibrasyon çalışmalarının ağırlıklı olduğu, UBEM'in ise gelişmeye açık bir alan olduğu görülmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, geleneksel optimizasyon algoritmalarının ötesine geçmekte; yüksek zamansal çözünürlük ve büyük veri setleriyle çalışan yeni nesil otomatik kalibrasyon çerçevelerini simülasyon modellerine entegre ederek geliştirmektedir. Yapay zekâ, derin öğrenme gibi yaklaşımların enerji simülasyon modellerine entegrasyonu yoluyla otomatik kalibrasyon süreçlerinin gelişimi hız kazanmıştır. Bu süreçlerde başlıca sorunlar arasında yetersiz standartlar, yüksek maliyet, model basitleştirmeleri, büyük veri setleri, veri belirsizlikleri, süreçlerin karmaşıklığı ve güvenilirlikle ilgili problemler yer almaktadır. Daha güvenilir sonuçlar elde etmek amacıyla, optimizasyon algoritmaları ve makine öğrenmesi gibi yapay zekâ teknolojilerinin entegrasyonu giderek yaygınlaşmakta, ancak yapay zekâ uygulamalarında verilerin işlenmesindeki belirsizlikler, şeffaflığı olumsuz etkileyerek yaygın kullanımını sınırlamaktadır. Bu sorunların çözümü noktasında yapay zekâ teknolojileri ile XAI yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. XAI sayesinde geliştirilen araçlar, süreçlere olan güveni arttırmakta ve söz konusu yaklaşımların yalnızca akademik çalışmalarda değil, aynı zamanda saha uygulamalarında da yaygın biçimde benimsenmesini mümkün kılacaktır. Gelecek çalışmalar, XAI'ın BES süreçlerindeki uygulamalarını daha detaylı ele alabilir.

KAYNAKÇA

1. Ali, U., Shamsi, M. H., Hoare, C., Mangina, E., & O'Donnell, J. (2021). Review of urban building energy modeling (UBEM) approaches, methods and tools using qualitative and quantitative analysis. Energy and Buildings, 246, 111073. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111073
2. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. (2023). ASHRAE Guideline 14-2023: Measurement of Energy, Demand, and Water Savings. ASHRAE.
3. Beaumont, M. A. (2018). Approximate Bayesian computation. Annual Review of Statistics and Its Application, 6(1), 379–403. https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-030718-105212
4. Calama-González, C. M., Symonds, P., Petrou, G., Suárez, R., & León-Rodríguez, Á. L. (2020). Bayesian calibration of building energy models for uncertainty analysis through test cells monitoring. Applied Energy, 282, 116118. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116118

5. Chen, J., Gao, X., Hu, Y., Zeng, Z., & Liu, Y. (2019). A meta-model-based optimization approach for fast and reliable calibration of building energy models. Energy, 188, 116046. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116046

6. Chong, A., Gu, Y., & Jia, H. (2021). Calibrating building energy simulation models: A review of the basics to guide future work. Energy and Buildings, 253, 111533. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111533

7. Chong, A., Xu, W., Chao, S., & Ngo, N. (2019). Continuous-time Bayesian calibration of energy models using BIM and energy data. Energy and Buildings, 194, 177–190. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.017

8. Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 123–141. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007

9. Cornaro, C., Bosco, F., Lauria, M., Puggioni, V. A., & De Santoli, L. (2019). Effectiveness of automatic and manual calibration of an office building energy model. Applied Sciences, 9(10), 1985. https://doi.org/10.3390/app9101985

10. Dal, A., Tomrukçu, G., Kızıldağ, H., Avgan, G., Ashrafian, T., Kalaycıoğlu, E. & Ganiç Sağlam, N. (2023). Bina Enerji Performans Analizi; Simülasyon, Doğrulama ve Kalibrasyon Yöntemleri Üzerine Bir Araştırma. 15. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi. İzmir.

11. Darvishvand, L., Kamkari, B., Huang, M. J., & Hewitt, N. J. (2025). A systematic review of explainable artificial intelligence in urban building energy modeling: Methods, applications, and future directions. Sustainable Cities and Society, 128, 106492. https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.106492

12. Eneyew, D. D., Capretz, M. A., & Bitsuamlak, G. T. (2024). Continuous model calibration framework for smart-building digital twin: A generative model-based approach. Applied Energy, 375, 124080. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124080

13. European Environment Agency (2024). Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe.https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy?activeAccordion=546a7c35-9188-4d23-94ee-005d97c26f2b

14. Gao, H., Koch, C., & Wu, Y. (2019). *Building information modelling based building energy modelling: A review*. *Applied Energy, 238*, 320–343. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032

15. Kotarela, F., Kyritsis, A., Agathokleous, R., & Papanikolaou, N. (2023). On the exploitation of dynamic simulations for the design of buildings energy systems. Energy, 271, 127002. https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127002

16. Lintusaari, J., Gutmann, M. U., Dutta, R., Kaski, S., & Corander, J. (2016). Fundamentals and recent developments in approximate Bayesian computation. Systematic Biology, syw077. https://doi.org/10.1093/sysbio/syw077

17. Nguyen, A. T., & Reiter, S. (2015). A performance comparison of sensitivity analysis methods for building energy models. Building Simulation, 8(6), 651-664.

18. Pachano, J. E., & Bandera, C. F. (2021). Multi-step building energy model calibration process based on measured data. Energy and Buildings, 252, 111380. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111380

19. Reddy T.A., Maor, I., & Panjapornpon, C. (2007). Calibrating Detailed Building Energy Simulation Programs with Measured Data-Part II: Application to Three Case Study Office Buildings (RP-1051), 13.

20. Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., Tarantola, S. (2008). Global Sensitivity Analysis. The Primer. 10.1002/9780470725184.ch6.

21. Sokol, J., Cerezo Davila, C., & Reinhart, C. F. (2017). Validation of a Bayesian-based method for defining residential archetypes in urban building energy models. Energy and Buildings, 134, 11–24. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.10.050

22. Swan, L. G., & Ugursal, V. I. (2009). Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(8), 1819–1835. https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033

23. Vera-Piazzini, O., & Scarpa, M. (2023). Building energy model calibration: A review of the state of the art in approaches, methods, and tools. Journal of Building Engineering, 86, 108287. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108287

24. Yang, T., Pan, Y., Mao, J., Wang, Y., & Huang, Z. (2016). An automated optimization method for calibrating building energy simulation models with measured data: Orientation and a case study. Applied Energy, 179, 1220–1231. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.07.084

25. Yoro, K. O., Daramola, M. O., Sekoai, P. T., Wilson, U. N., & Eterigho-Ikelegbe, O. (2021). Update on current approaches, challenges, and prospects of modeling and simulation in renewable and sustainable energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 150, 111506. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111506

26. Zhou, Y. (2024). Rethinking numerical modelling and calibrations on net-zero energy buildings and districts in hot and humid climates. Journal of Cleaner Production, 144579. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144579

27. Zhu, C., Tian, W., Yin, B., Li, Z., & Shi, J. (2020). Uncertainty calibration of building energy models by combining approximate Bayesian computation and machine learning algorithms. Applied Energy, 268,115025. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115025

28. Zuhaib, S., Hajdukiewicz, M., & Goggins, J. (2019). Application of a staged automated calibration methodology to a partially-retrofitted university building energy model. Journal of Building Engineering, 26, 100866. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100866

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TÜRKİYE'DE SÜRDÜRÜLEBİLİR ULAŞIM: BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK ANALİZ

Dr. Öğretim Üyesi Özlem BATTAL ŞAL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

ozlembattal@karabuk.edu.tr- 0000-0002-2308-7933

ÖZET

Sürdürülebilir ulaşım, yerel, ulusal ve küresel düzeylerde kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Çok sayıda çalışma sürdürülebilir ulaşıma odaklanmıştır, ancak bu çalışmaları özellikle Türkiye özelinde gelecekteki araştırma yönünü etkilemek için incelemeye yönelik sınırlı bir çaba vardır. Bu çalışma, Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım alanında gerçekleştirilen akademik yayınların gelişim eğilimlerini, araştırma odaklarını ve tematik yönelimlerini belirlemek amacıyla bibliyometrik ve tematik analiz yöntemlerini kullanmaktadır. Çalışmada veri toplama için PRISMA protokolü kullanılmış ve Web of Science veri tabanından toplam 31 makale alınmıştır. Çalışmada, sonuçları oluşturmak ve bilgi boşluğunu ve gelecekteki çalışmalar için yönleri belirlemek amacıyla nitel analizler yapmak için bibliometrix yazılımı kullanılmıştır. Çalışma, Web of Science veri tabanından yalnızca İngilizce dergi makalelerini içermekte olup, diğer önemli çalışmaları hariç tutmaktadır. Ancak bu çalışma, Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım araştırmalarına ilişkin değerli bir genel bakış sunmakta olup, gelecekteki araştırmalar için yönlendirici öneriler geliştirmekte ve politika yapıcılar ile araştırmacılar için stratejik bir referans çerçevesi sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir ulaşım, Prisma, bibliyometrik, sürdürülebilir kalkınma

1. GİRİŞ

Ulaşım sistemleri, ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilir biçimde yürütülmesi, toplumsal refahın artırılması ve kentlerin yaşanabilirliğinin sağlanmasında kritik bir rol oynamaktadır. Artan nüfus, hızla büyüyen kentleşme ve motorlu taşıt sahipliğindeki yükseliş, Türkiye'de olduğu gibi dünyada da ulaştırma kaynaklı çevresel baskıları artırmakta; enerji tüketimi, sera gazı emisyonları, trafik sıkışıklığı ve yol güvenliği sorunlarını daha görünür hâle getirmektedir. Bu kapsamda sürdürülebilir ulaşım, yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasını değil, aynı zamanda ekonomik verimliliğin artırılmasını, sosyal kapsayıcılığın güçlendirilmesini ve erişilebilir, güvenli, entegre ulaşım ağlarının oluşturulmasını hedefleyen çok boyutlu bir kavram olarak öne çıkmaktadır.

Sürdürülebilir ulaşım, yerel, ulusal ve küresel düzeylerde kalkınma hedeflerine ulaşmada önemli bir rol oynamaktadır. Kirlilik, enerji israfı ve sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunlara katkısı nedeniyle sürdürülebilir kalkınmanın önünde bir engel olarak yaygın olarak kabul edilmektedir (Alhindawi vd., 2020). Ulaşım sektörü, küresel enerji kaynaklı karbondioksit emisyonunun yaklaşık %23'ünden sorumludur ve bu da onu iklim değişikliğine önemli bir katkıda bulunan bir faktör haline getirmektedir (Luiza vd., 2023).

Sürdürülebilir ulaşımın doğuşu, sürdürülebilir kalkınma kavramına kadar uzanır ve bu da onu ulaşım alanında sürdürülebilir kalkınmanın bir örneği haline getirmektedir (Gudmundsson vd., 2022; Bao vd., 2023). Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı bu fikri ilk olarak 1992 yılında kabul etmiştir (Bao vd., 2023). Sürdürülebilir ulaşım, ekonomik, sosyal ve çevresel hedeflere eş zamanlı olarak ulaşılmasını ifade etmektedir. Bassi vd. (2022)'e göre, sürdürülebilir ulaşım şunları ifade etmektedir:

i. İnsanların temel erişim ve kalkınma gereksinimlerini şimdiki ve gelecekteki nesiller arasında güvenli ve adil bir şekilde karşılayan ve gelecek nesiller arasında eşitliği teşvik eder.

ii. Dışsal maliyet içselleştirmesi dikkate alındığında makul fiyatlıdır, tarafsız ve becerikli bir şekilde işler ve istikrarlı bölgesel kalkınmayı teşvik eder.

iii. Hava ve gürültü kirliliğini, sera gazı emisyonlarını, atıkları ve arazi kullanımı üzerindeki etkiyi azaltır.

iv. Toplum genelindeki ilgili paydaşları içeren kapsayıcı bir yaklaşımla formüle edilir.

Uluslararası alanda sürdürülebilir ulaşım, Birleşmiş Milletler'in Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA), Avrupa Birliği Ulaşım Politikaları ve çeşitli ulusal strateji belgelerinde temel hedef alanlarından biri olarak konumlandırılmaktadır. Türkiye'de de 12. Kalkınma Planı, Ulaşım ve Lojistik Ana Planı ve çeşitli belediye düzeyindeki Sürdürülebilir Kentsel Hareketlilik Planları (SKUP), bu alanda önemli hedef ve stratejik öncelikler ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, sürdürülebilir ulaşım literatürünün nasıl geliştiğini, hangi temalarda yoğunlaştığını ve Türkiye bağlamında araştırma eğilimlerinin nasıl şekillendiğini anlamak hem akademik hem de uygulamalı politika çalışmaları açısından önemli bir gereklilik hâline gelmiştir.

2000 yılından bu yana, sürdürülebilir ulaşım üzerine yapılan araştırmalarda artış yaşanmış ve bu araştırmalar konunun farklı boyutlarını ele almıştır (Zhao vd., 2020). Ancak, sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin farklı bakış açıları nedeniyle sürdürülebilirlik ve ulaşımın entegrasyonu hâlâ eksik kalmaktadır. Ayrıca, ulaşım ve sürdürülebilirlik arasındaki ilişki karmaşık ve disiplinler arasıdır ve bu da parçalı bir anlayışa yol açmaktadır. Bu nedenle, kapsamlı bir anlayış kazanmak için, bilim insanları sürdürülebilir ulaşımı farklı açılardan incelemiş ve Çizelge 1'de gösterildiği gibi bibliyometrik analiz yaklaşımını kullanmışlardır.

Türkiye'nin ulaşım sektöründe, yüksek trafik kaza oranları ve güvenlik endişeleri özellikle kritik bir boyut kazanmaktadır: 2023'te kara yolu trafik kazalarında 6.548 kişi yaşamını yitirmiş, 350.855 kişi yaralanmıştır. Bu durum, yol kullanıcılarının (yayalar, bisikletliler, motosikletliler ve elektrikli scooter kullanıcıları) toplam ölümlerin %39,9'unu oluşturmasıyla daha da belirginleşmektedir. Böyle bir tablo, Türkiye'de trafik güvenliği taviz verilemeyecek bir mesele olduğunu ve sürdürülebilir ulaşım stratejilerinin bu yönüyle ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır (TUİK, 2023).

Çizelge 1. Bibliyometrik analiz kullanılarak sürdürülebilir ulaşıma ilişkin yayınlar

Yazar	Araştırmanın Odak Noktası	Amaçlar	Kullanılan Veriler

Ren et al. (2020)	Yeşil ve sürdürülebilir lojistik (G&SL)	G&SL araştırma alanındaki eğilimi, bilgi yapısını ve boşluğu değerlendirir.	1999'dan 2019'a kadar 306 makale
Meyer (2020)	Karayolu Yük Taşımacılığı	Karayolu taşımacılığının karbonsuzlaştırılmasını sistematik olarak değerlendirir ve mevcut literatürü kapsamlı bir şekilde inceleyerek bu alanda daha fazla araştırma yapılmasını önerir.	1984'ten 2019'a kadar 715 makale
Zhao et al. (2020)	Sürdürülebilir ulaşım	Araştırma alanlarını belirleyin, bilgi eksikliklerini keşfedin ve gelecekteki araştırmalar için yollar önerin	2000'den 2019'a kadar 882 makale
Roman (2022)	Sürdürülebilir ulaşım	Sürdürülebilir ulaşımla ilgili literatürü inceleyin	2000'den 2022'ye kadar 1238 yayın.
Bao et al. (2023)	Sosyal açıdan sürdürülebilir ulaşım	Sosyal açıdan sürdürülebilir ulaşım araştırmalarını kapsamlı bir şekilde analiz edin, görselleştirin ve haritalayın	1993'ten 2021'e kadar 2703 makale
Kovaˇci´c et al. (2022)	Elektrikli ve Otonom Araç	Şehirlerde otonom elektrikli araçların kullanımına ilişkin araştırma modellerini keşfedin	2005'ten 2022'ye kadar 239 makale

Bu araştırma için kullanılan veri seti, 2007-2025 yıllarını kapsayan Web of Science veri havuzundan elde edilmiştir. Genel olarak, çalışma şu soruları araştırmayı amaçlamıştır:

1) Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım araştırma alanının özellikleri nelerdir?

2) Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım araştırma alanındaki baskın ve ortaya çıkan anahtar kelimeler veya temalar nelerdir?

3) Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım alanında gelecekteki araştırmalar için temel araştırma konuları, bilgi boşlukları ve yönler nelerdir?

Makalenin geri kalanı daha sonraki bir şekilde düzenlenmiştir. 2. Bölüm, bu çalışmada kullanılan metodolojiyi açıklamaktadır. 3. Bölüm, bibliyometrik analizin bulgularını sunarak, çalışmanın ortaya koyduğu birinci ve ikinci soruları etkili bir şekilde ele almaktadır. Son olarak, 4. Bölüm, araştırmanın kapsamlı bir özetini sunmaktadır.

2. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

2.1. Araştırma Yaklaşımı

Çalışma, hedeflerine ulaşmak için bibliyometrik analiz kullanmaktadır. Başlangıçta araştırma modellerini, üretken yazarları, bağlantıları ve diğer ilgili faktörleri anlamak için nicel teknikler kullanılmıştır (Haddow, 2018). Daha sonra, tekrar eden temalar ve araştırma boşlukları hakkında daha derinlemesine bilgi edinmek için nitel bir metodoloji benimsenmiştir. Literatür incelemesine yapılandırılmış bir yaklaşım sağlamak amacıyla, akademik çalışmaların alınması için Sistematik İncelemeler ve Meta-Analizler için Tercih Edilen Raporlama Öğeleri (PRISMA) yaklaşımı kullanılmıştır. PRISMA, inceleme ve meta-analizler yürütmek için

yaygın olarak kabul görmüş, kanıta dayalı bir yaklaşımdır (Page vd., 2021; Mühl ve Oliveira, 2022). PRISMA stratejisi, araştırma hedefleri, uygunluk kriterleri, veri toplama yöntemleri ve analiz planları gibi incelemenin önemli yönlerinin açık ve öz bir şekilde ana hatlarını sağlayan yapılandırılmış incelemelere yönelik özel uyarlaması nedeniyle diğer yaklaşımlara tercih edilmektedir (Page vd., 2021).

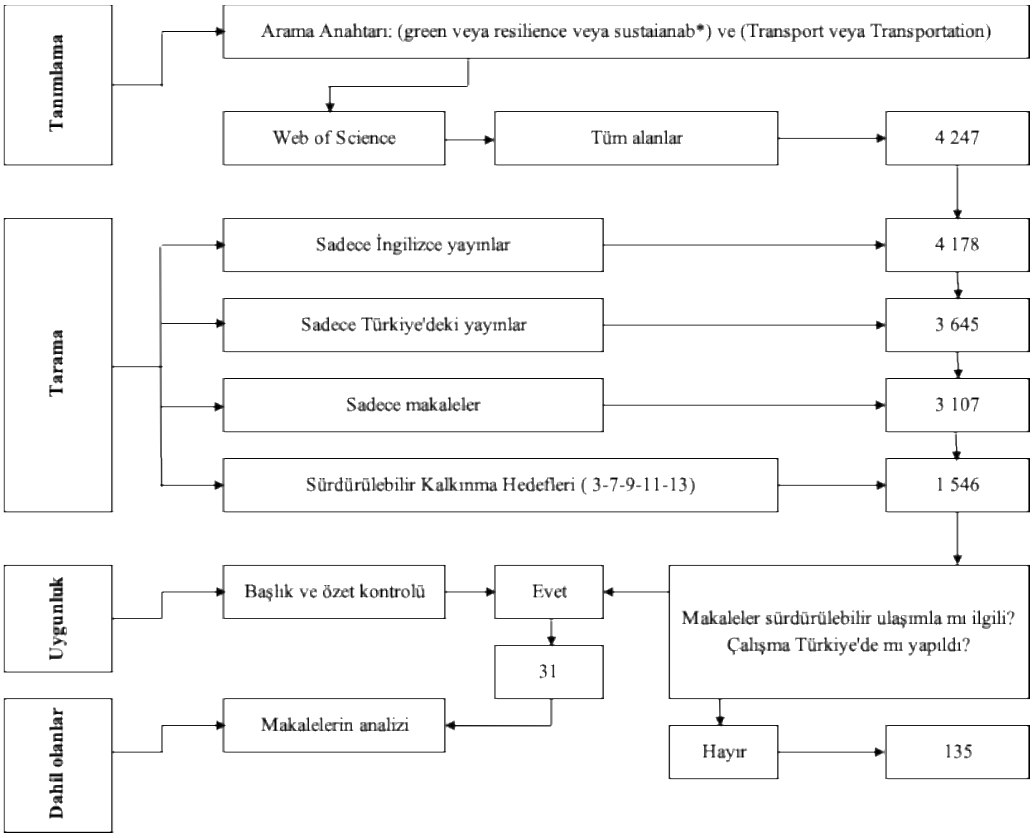
Ayrıca, hata olasılığını azaltmak ve verilerin farklı yazılımlarla analizini kolaylaştırmak için yalnızca tek bir veri tabanı olan Web of Science kullanıldı. Web of Science, akademik literatür özetleri ve atıfları içeren en büyük veri tabanı olma özelliği nedeniyle seçildi. Bibliyometrik analiz için en kapsamlı veri tabanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Dahası, sürdürülebilir ulaşım disiplinler arası bir kavramdır ve Web of Science'taki farklı disiplinleri kapsayan geniş içerik yelpazesi, sürdürülebilir ulaşım araştırmalarının çok yönlü yönlerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamaktadır.

2.2. Veri Toplama

Bibliyometrik analiz, belirli bir alandaki bilimsel üretimi nicel olarak inceleyen; yayın eğilimlerini, atıf ilişkilerini, araştırmacı ve kurum ağlarını ortaya çıkaran güçlü bir yöntemdir. Tematik analiz ise literatürün içeriksel yapısını inceleyerek öne çıkan araştırma konularını, gelişen temaları ve boşlukları sistematik biçimde belirleme imkânı sunmaktadır. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, literatürün hem yapısal hem de içeriksel açıdan bütüncül bir değerlendirmesini mümkün kılarak araştırma alanının mevcut durumunu ve gelecek yönelimlerini kapsamlı şekilde ortaya koymaktadır.

Akademik çalışmaların araştırılmasında belirli anahtar kelimeler ve adımlar dikkate alınarak PRISMA protokolü kullanıldı. Bu çalışma için veri kümesi, 1 Kasım 2025'te arama Boolean dizesi kullanılarak elde edildi: (green veya resilience veya sustaianab*) ve (Transport veya Transportation). Çalışmaların yayın zaman çerçevesine herhangi bir kısıtlama getirilmediği için arama yapılan tarihe kadar yayınlanan makaleler dikkate alınmıştır. Makalenin başlığına, özetine ve anahtar kelimelerine vurgu yapılarak toplam 4 247 makale alındı. Veri kümesi BibTeX formatında dışa aktarılmıştır.

Çalışma, Görsel 1'de sunulduğu gibi, analiz için verileri seçmek için dört adım kullanmıştır. Dahil etme kriterleri, Türkiye’de sürdürülebilir ulaşım üzerine İngilizce yayınlanmış dergi makalelerini gerektirmiştir. Analizin kalitesini ve titizliğini sağlamak için çalışma, incelemeler, konferanslar, kitap bölümleri ve basında çıkan makaleler dahil olmak üzere bir dizi kaynağı hariç tutmuştur. Dergi makaleleri, en etkili araştırma olarak kabul edildikleri için tercih edilmiştir. Konferans bildirileri ve kitap bölümleri, daha az sıkı inceleme süreçlerinden geçtikleri ve dergi makalelerine göre daha az zengin bilgi sağladıkları düşünüldüğü için hariç tutulmuştur. Sonuç olarak, 31 makale Bibliyometrik için R aracı ve VosViewer yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.



Görsel 1. Veri toplama süreci

2.3. Veri Analizi

Çalışmada, bibliyometrik istatistikleri sunmak için R yazılımında açık kaynaklı bir web arayüzü olan Biblioshiny kullanılmıştır. Anahtar kelimelerin eş zamanlılık ağını ve katmanını görselleştirmek için VOSviewer kullanılmıştır. Yazılım ve program seçimi, araştırma için anahtar kelime sayımı ve strateji haritası oluşturma becerilerinin yeterliliğine göre yapılmıştır. R dilinde programlanmış, açık kaynaklı bir araç olan bibliyometrik paket, kapsamlı bilimsel haritalama yapma yeteneğine sahiptir (Mühl ve de Oliveira, 2022).

3. BULGULAR

Analiz iki bölüme ayrılmıştır: Türkiye’de sürdürülebilir ulaşım alanı ve tematik analiz. İlk bölüm atıf eğilimleri, yazarlar, iş birliği ağları, yazarların bağlantılarına odaklanmaktadır. İkinci bölüm, anahtar kelime kullanımlarını, ağları, katmanları ve tematik haritaları incelemektedir.

Çizelge 2, örneklem özellikleri de dahil olmak üzere veri setinin genel bir görünümünü sunmaktadır. Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım üzerine toplam 75 yazar makale yayınlamıştır; makalelerin 3'ü (%4) tek yazarlı, 72'si (%96 ise çok yazarlıdır.

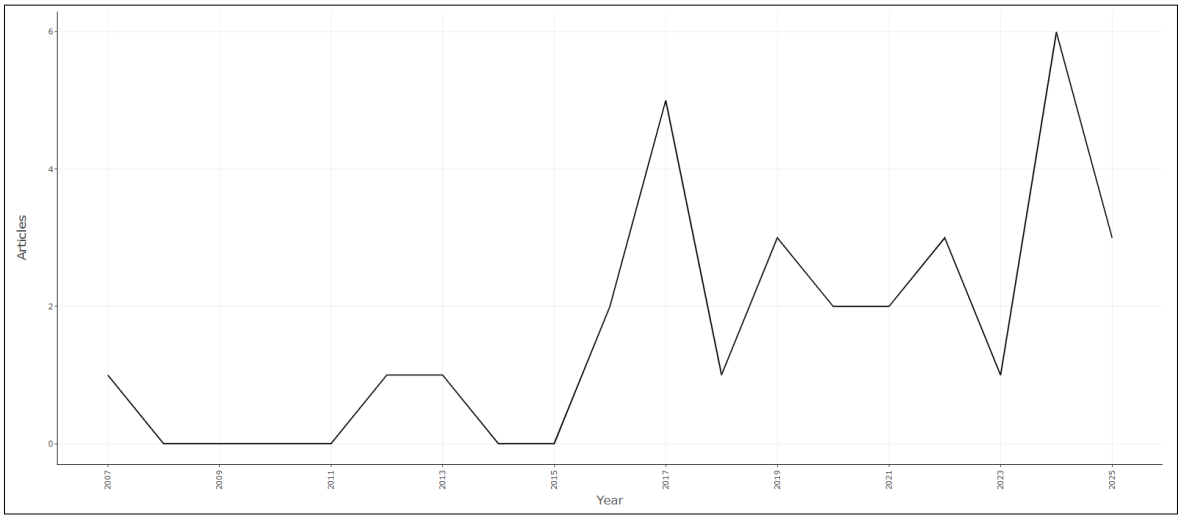
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 2. Analizin istatistikleri

Analize ait veriler	Değer
Zaman aralığı	2007-2025
Makale sayısı	31
Yıllık Artış Oranı %	6,29
Belge Ortalama Yaşı	5,19
Makale başına ortalama atıf sayısı	20,06
Anahtar Kelimeler (ID)	135
Yazarların Anahtar Kelimeleri (DE)	129
Yazarlar	75
Tek yazarlı makale yazarları	3
Çok yazarlı makale yazarları	72
Uluslararası ortak yazarlık oranı	16,13

3.1. Türkiye'de Sürdürülebilir Ulaşım

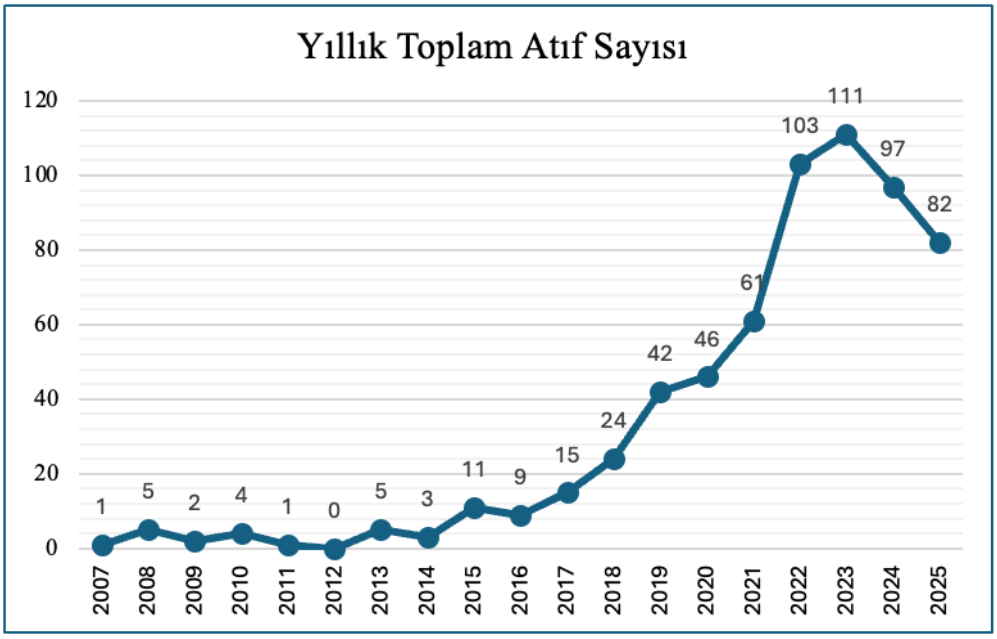
Yapılan yayınların başlangıç tarihinden 2017 yılına kadar çok az makale yayınlanmış olup, 2008, 2009, 2010, 2011, 2014 ve 2015 yıllarında hiç makale yayınlanmamıştır (Görsel 2). En düşük yayın sayısı, 2007, 2012, 2013 ve 2023 yıllarında kaydedilmiştir. Ancak, 2017'den sonra sürdürülebilir ulaşım çalışmalarında bir artış görülmüş ve bu sayı 6 olmuştur. Bu da sürdürülebilir ulaşımın araştırmacılar tarafından giderek artan bir ilgi gördüğünü göstermektedir. Sürdürülebilir ulaşım çalışmalarının yıllık büyüme oranı 0,0629'dur; bu da Türkiye verilerini kullanan çalışma sayısının her yıl %6,29 oranında arttığı anlamına gelmektedir.



Görsel 2. 2007-2025 yılları arasındaki yıllık bilimsel çalışmalar

Atıf analizleri, bir makalenin belirli bir disiplindeki araştırmanın ilerlemesine katkısını ortaya koymaktadır. Bu bibliyometrik çalışmaların önemli bir bileşenini temsil etmektedir (Haddow, 2018). Görsel 3, zaman içindeki toplam atıfları göstermektedir. Sadece 2012 yılında atıf

bulunmamaktadır. Ayrıca, atıf örüntüsü artış göstererek 2023 yılında 111 atıfla zirveye ulaşmıştır. En yüksek toplam atıfa sahip makale (102), 2017 yılında Çimen ve Soysal (2017) tarafından yazılmıştır. Yazarlar, zaman bağımlı kapasiteli araç rotalama problemini ele almışlardır. Problem üzerindeki geleneksel girişimlerden farklı olarak, yakıt tüketimi ve emisyon miktarını tahmin ederken model, araç hızlarının zamana bağımlılığını hesaba katmışlardır. Analizleri sonucunda, araç hızlarının karar destek modellerine dahil edilmesinin, seyahat süresi, emisyonlar ve seyahat maliyeti açısından ortaya çıkan rotaların performansını iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir.



Görsel 3. 2007-2025 yılları arasındaki toplam atıflar

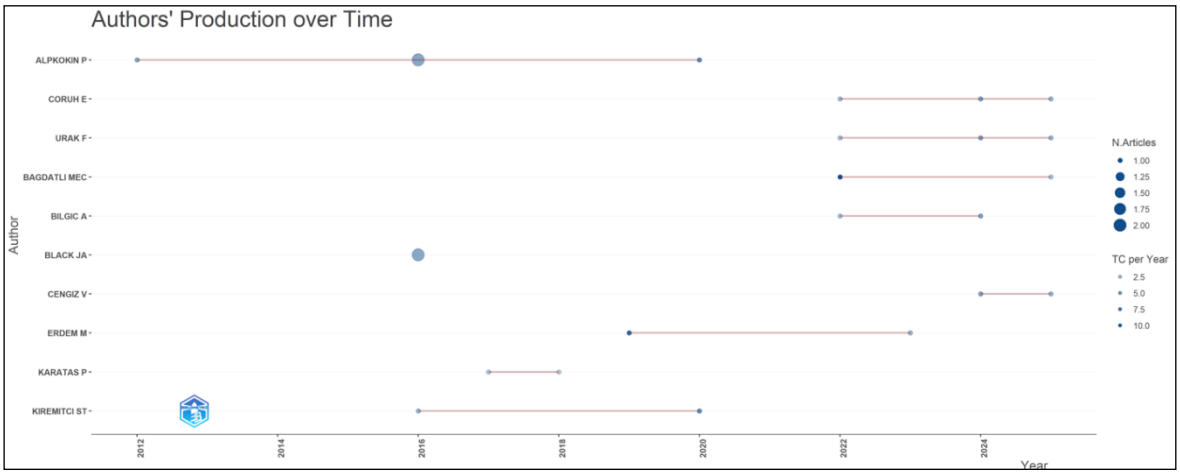
Çizelge 3 En çok atıf alan ilk 15 makale

	Çalışma	Yıllık Toplam Atıflar	Toplam Atıflar
1	Çimen ve Soysal (2017)	11,33	102
2	Demir (2007)	3,74	71
3	Kalaycı vd. (2021)	12,2	61
4	Erdem ve Koç (2019)	8,43	58
5	Ulengin vd. (2018)	5,88	47
6	Bagdatli ve Cihangir (2022)	11	44
7	Alpkokin ve Ergun (2012)	2,93	41
8	Canitez vd. (2020)	5,17	31
9	Yanik vd. (2017)	2,78	25
10	Babalik (2013)	1,69	22
11	Alpkokin vd. (2016)	1,8	18
12	Ulker vd. (2021)	2,5	15
13	Baykasoglu ve Subulan (2019)	2	14
14	Alpkokin vd. (2016)	1,4	14
15	Hulagu ve Hilmi Berk (2022)	3	12

Çizelge 3, yazarların, yılların ve makale etkisinin bir özetini sunmakta olup, Görsel 3'ü tamamlayıcı bir referans görevi görmektedir. Bir makalenin başka bir makalede referans olarak atıf alma sıklığı, bilimsel etkisinin bir göstergesidir. Bu makaleler, araştırma alanına genel bir bakış sunmakta ve popüler temalarla örtüşmektedir.

Yeni makaleler, eski makalelere göre daha az atıf alma eğilimindedir, ancak yıllık atıf sayıları daha yüksek olabilir. Örneğin, Çimen ve Soysal 102 toplam atıf almış olsa da Kalaycı ve arkadaşları (2021) 12,2 ile yıllık en yüksek atıf sayısına sahiptirler. Kalaycı ve arkadaşları (2021), çalışmalarında, 2010 yılında 70 hektarlık bir alan üzerinde kurulan İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Çiğli Kampüsü'nün ulaşım ağı, sürdürülebilirlik ve ekolojik tasarım kriterleri kapsamında incelemiş, yaya ve bisiklet odaklı bir ulaşım ağı da önermişlerdir. Çalışmaları iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada kampüs ulaşımının mevcut durum analizi sunulmuş, ikinci aşamada ise ekolojik tasarım kriterleri dikkate alınarak kampüs içinde sürdürülebilir bir ulaşım sistemi için önerilerde bulunulmuştur. Diğer yüksek atıf alan çalışma Demir (2007) tarafından yapılmıştır. 2007 yılında yapılan çalışma 3,74 yıllık atıf sayısına sahiptir.

Akademik çevreler, geniş çapta referans verilen çalışmaların önemini kabul etmektedir; ancak bazı yazarlar, yürüttükleri çalışma sayısıyla eşit derecede katkıda bulunabilirler (Mühl ve Oliveira, 2022). Toplanan örneklemde, yazarların yalnızca %16'sı (12) iki veya daha fazla makale yayınladığı ve bir yazarın bir yılda ürettiği en yüksek makale sayısı dört olduğu görülmektedir. Görsel 4, yıllar içinde en yüksek üretkenliğe sahip ilk 10 yazarı göstermektedir.



Görsel 4. En çok üretim yapan ilk 10 yazar.

Alpkokin, dört makale yayınlayarak en çok makale yazan olmuştur. Alpkokin ilk çalışmasını 2012 yılında yapmıştır. Otobüs Hızlı Taşımacılığı (BRT) sistemleri üzerine çalışma yapmışlardır. Sunduğu karşılaştırmalı maliyet avantajları ve hızla değişen hareketlilik ihtiyaçlarına yanıt verme yeteneği iyi bilinmektedir. BRT sistemini tüm planlama ve operasyonel yönleriyle tanıtarak BRT literatürüne ilk katkıyı sunmayı hedeflemişlerdir. Diğer yandan, politika rehberliği açısından Metrobüsün İstanbul'da sürdürülebilir kalkınma ve mobilite hedeflerine etkili katkılar sağlayıp sağlamadığını da değerlendirmişlerdir (Alpkokin ve Ergun, 2012).

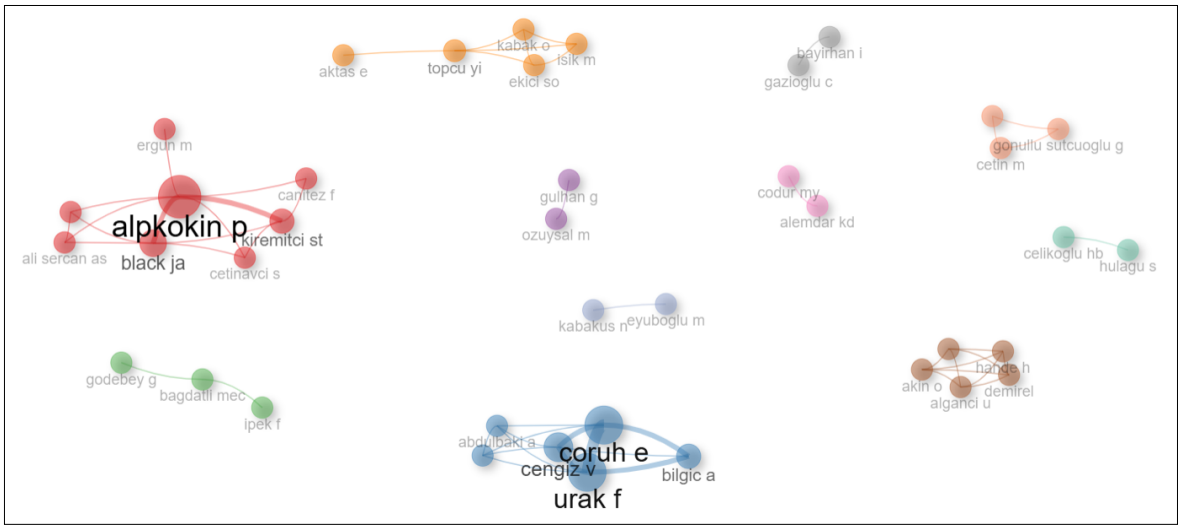
İkinci çalışmasını 2016'da yapmıştır (Alpkokin vd. 2016). Çalışmalarında İstanbul'daki Avrupa-Asya geçişlerinin temel özelliklerini, tarihini ve durumunu açıklayarak sürdürülebilirlik sorunları üzerine bir tartışma çerçevesi sunmaktadırlar. Özgünlüğü, mevcut politikaların daha sürdürülebilir sonuçlara yol açıp açmadığını değerlendirmek için hem tarihsel bir bakış açısı hem de gelecek beklentileri temelinde Avrupa-Asya geçişlerinin ekonomik, sosyal ve çevresel etkileri üzerinden sürdürülebilirliği tartışmışlardır. Üçüncü çalışmasında ise, ulaşım ana planlarından elde edilen yayınlanmamış verilerin analizlerine, bu ana planlar üzerinde çalışan planlama uzmanlarıyla ve siyasi liderlerle yapılan görüşmelere dayanarak, bu küçük şehirlerin hafif raylı sistem ve tramvaylarını ne kadar etkili bir şekilde planlayıp finanse ettiklerini ve ne kadar verimli bir şekilde işletildiklerini değerlendirmişlerdir (Alpkokin vd. 2016). Dördüncü çalışmasını da 2020 yılında yapmıştır. Çalışmasında, İstanbulluların yaşam kalitesini uzun süredir olumsuz etkileyen hareketlilik sorununu daha iyi anlamak için, sürdürülebilir kentsel hareketlilik paradigması çerçevesinde İstanbul'un kentsel ulaşım politikaları ve stratejilerinin kapsamlı bir incelemesi ve analizi ele almışlar. Zorlukları tespit ederek, öneriler sunarak İstanbul'da sürdürülebilir kentsel hareketliliğin nasıl sağlanabileceğine dair beklentileri sunmuşlardır (Canitez vd. 2020).

İkinci sırada en çok yayın yapar yazar Coruh, üç bilimsel çalışması ile bu konuda literatüre katkıda bulunmuştur. 2022, 2024 ve 2025 yıllarında çalışmalarını yapmıştır. 2022 yılında yaptığı çalışmada Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından toplanan en son anket verilerini kullanarak, hane halkı demografik faktörlerinin Türkiye'de ulaşım modellerini ve harcamalarını nasıl şekillendirdiği konusunu araştırmışlardır (Coruh vd. 2022). Hane halkı ekonomik ve sosyodemografik özelliklerinin çoğunun hem ulaşım harcamalarının olasılığını hem de düzeyini belirleyen önemli faktörler olduğu sonucu elde etmişlerdir. Ayrıca karbon emisyonlarını azaltmak ve ülke genelinde çevre dostu ulaşım sistemlerini entegre etmek için politika önerileri sunmuşlardır. 2024 yılında yaptığı çalışmada, hane halkı bazlı CO2 emisyonlarına katkıda bulunan faktörleri belirlemek için özel yakıt harcaması olasılığı ve harcama seviyeleri ile hane halkı özellikleri arasındaki ilişkiyi açıklamak amacıyla çift engel sansürlü modeller kullanmışlardır. İncelenen 38 faktörün yaklaşık üçte ikisinin emisyonlara katkıda bulunduğu elde etmişlerdir. Bu endişe verici durum, aile temelli yeşil dönüşüm politikalarının oluşturulmasının önemini vurgulamaktadır. Ekonomik teşvikler yoluyla elektrikli araçların benimsenmesini teşvik etmek, toplu taşıma ağlarını genişletmek ve sürdürülebilir konut politikaları uygulamak gibi önlemlerin alınması önerilmektedir (Coruh vd. 2024). 2025 yılında yaptığı çalışmada

Diğer çalışmalarında, 2022 yılında Türkiye'de belirlenen bölgede dizel, benzin ve LPG için yakıt talebi esnekliklerini analiz etmişlerdir. Model, bölgesel farklılıkları ve yakıt etkileşimlerini hesaba katarak, tüketim kalıplarında önemli mekânsal ve zamansal farklılıkları ortaya çıkaran sağlam tahminler üretmektedir. Dizel talebi, benzersiz bir şekilde, geleneksel esneklik varsayımına meydan okuyan, önemli ölçüde pozitif bir fiyat esnekliği göstermiştir. Benzin talebi fiyatlara orta derecede duyarlı iken, LPG nispeten tepkisiz görünmektedir. Bu bulgular, farklılaştırılmış bölgeye ve yakıta özgü stratejilere olan ihtiyacın altını çizmektedir. Daha yüksek benzin vergileri talebi etkili bir şekilde azaltabilirken, dizel ve LPG kullanımını azaltmak, altyapı iyileştirmeleri, davranışsal teşvikler ve alternatif yakıtların hızla

benimsenmesi gibi tamamlayıcı önlemler gerektirecektir. Çalışma, bölgesel olarak ayarlanmış karbon fiyatlandırmasını, örtük sübvansiyonların kaldırılmasını ve elektrikli ve hibrit araçlara yönelik hedefli desteği savunmaktadır. Mali araçların gerçek talep davranışıyla uyumlu hale getirilmesi, düşük karbonlu bir ulaşım sistemine geçişin hem verimliliğini hem de adaletini artırabilmektedir (Coruh vd. 2025).

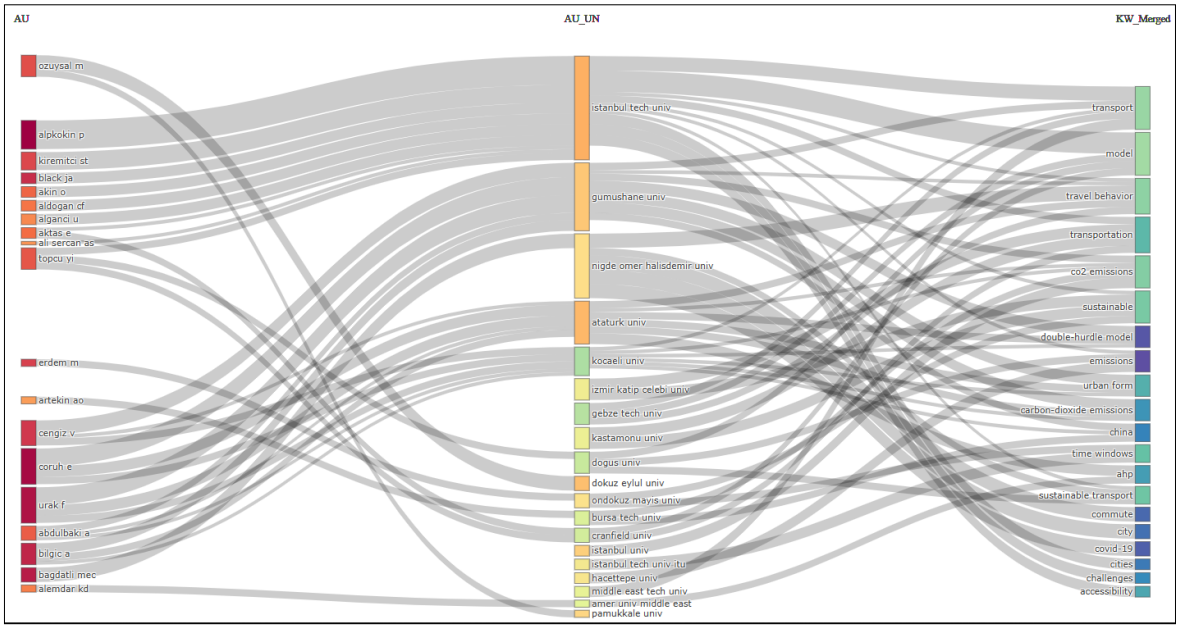
Görsel 5'te farklı renklere sahip toplam 12 küme gösterilmektedir. En çok yayınlanmış makaleye sahip yazarlar Alpkokin, Kiremitci, Black ve Ergun gibi diğer yazarlarla iş birliği yapmaktadır.



Görsel 5. Ortak yazarlık ağları

Küme 1, (kırmızı renk) tarafından üretilen makalelerin analizi, ele alınan konuların sürdürülebilir kişisel hareketlilik, sürdürülebilir politika zorlukları, kentsel raylı sistem politikaları, sürdürülebilir kentsel hareketlilik, ulaşım politikaları üzerine odaklandığını göstermektedir (Alpkokin ve Ergun, 2012; Alpkokin vd., 2016; Alpkokin vd., 2016; Canitez vd., 2020). İkinci en büyük küme (Küme 2, mavi renk) Coruh, Urak, Bilgic ve Cengiz gibi yazarlardan oluşmaktadır. Hanehalkı ulaşımı, ulaşım harcamaları ve sera gazı emisyonuyla ilgili konuları da ele almaktadır (Coruh vd., 2022; Coruh vd., 2024; Coruh vd., 2025). Ayrıca, üçüncü en büyük küme (yeşil renkli küme 3), ulaşım modları, ulaşım modu seçimi, sürdürülebilir ulaşım ve seyahat davranışıyla ilgili konuları ele almaktadır ve Bagdatli, Godebey ve İpek gibi yazarlardan oluşmaktadır (Bagdatli vd., 2022; Bagdatli vd., 2025). Dolayısıyla, en büyük üç ortak yazarlık ağının yazarları, sürdürülebilir taşımacılığın farklı yönleri üzerinde çalışmaktadır.

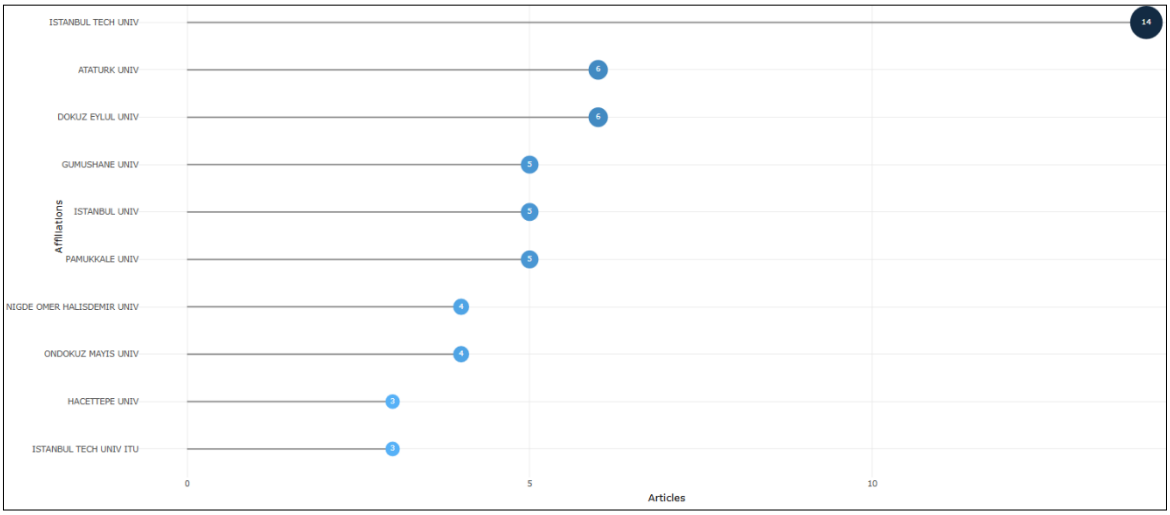
İş birliği ağı çeşitli faktörlere bağlanabilir. İş birliklerini anlamak için, Görsel 6'daki üç alanlı grafik, sırasıyla merkez, sağ ve sol alanlar, anahtar kelimeler, yazarlar ve makale başlığı ilişkilerinin sonucunu göstermektedir.



Görsel 6. Yazar, üniversite ve anahtar kelimeler

1. kümede iş birliği ağı kuran yazarlar Alpkokin, Kiremitci, Black ve Ergun İstanbul Teknik Üniversitesi ve New South Wales Sydney Üniversitesi gibi eğitim kurumları aracılığıyla birbirlerine bağlıdırlar.

İkinci kümede, Coruh, Urak, Bilgic, Cengiz, Yıldız ve Yen, Gümüşhane Üniversitesi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Kocaeli Üniversitesi, Atatürk Üniversitesi ve Ulusal Tayvan Üniversitesi ile bağlantılıdır. Bu kurumlar arası bağlantı, çeşitli ülke ve üniversitelerden gelen akademik yayınlarda açıkça görülmektedir.



Görsel 7. Daha fazla yayını olan ilk 10 üniversite

İstanbul Teknik Üniversitesi, Görsel 7'de gösterildiği gibi en üretken kurumdur. Onu Atatürk Üniversitesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi takip etmektedir. Yayın sayılarına bakıldığında 14 makale İstanbul Teknik Üniversitesi'nin, 6 makale de Atatürk Üniversitesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi'nin olduğu görülmektedir.

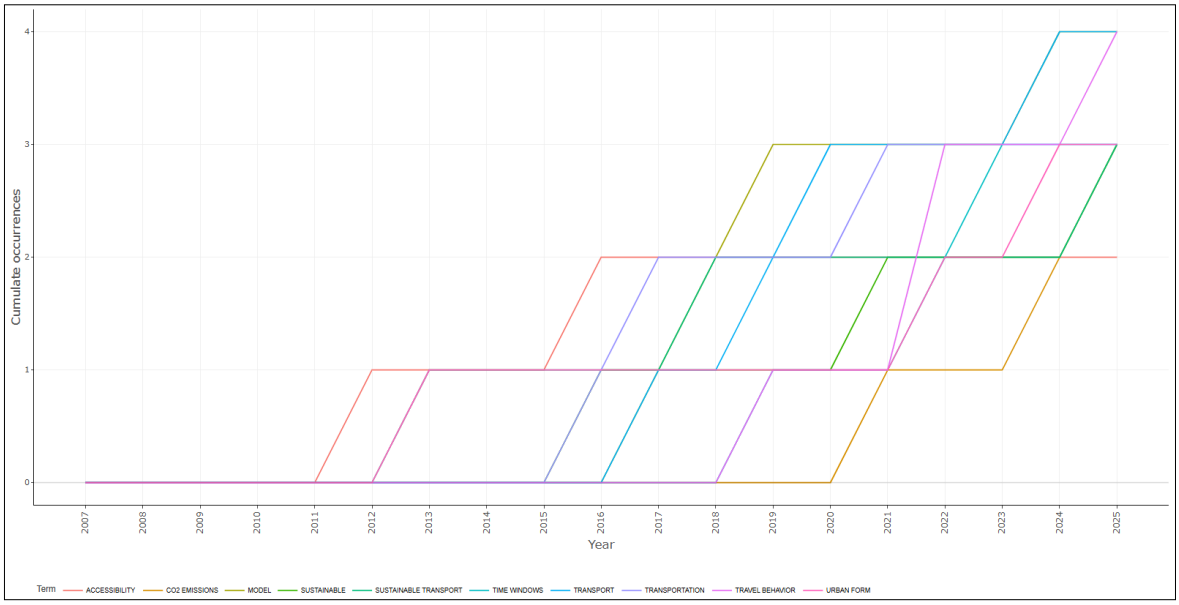
Çalışma, şu ana kadar Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım çalışmalarına genel bir bakış sunmuştur. Bir sonraki bölüm, tematik bir analiz aracılığıyla, Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşımın baskın ve ortaya çıkan temaları hakkında daha derin bir anlayış sunmaktadır.

3.2. Tematik analiz

Bu bölüm, Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım araştırma alanına yıllar içinde hâkim olan yaygın temaları açıklamaktadır. Bölüm, yazarlar tarafından kullanılan anahtar kelimelerin analiziyle başlamaktadır. Ardından, alandaki tematik alanları belirlemek için anahtar kelime eş-geçiş ağı oluşturulmuştur. Anahtar kelimelerin analizi, belirli bir alandaki baskın konuları, temaları ve araştırma yönünü anlamada önemli bir rol oynamaktadır (Song ve ark., 2019).

Görsel 8. En sık kullanılan elli (50) yazar anahtar kelimesi

Görsel 8, toplanan makalelerde en sık kullanılan Yazar Anahtar Kelimelerinin bir kelime bulutunu göstermektedir. Anahtar kelimeler, makalelerin temel içeriğini temsil eden isimler veya ifadelerdir. Şekildeki anahtar kelimelerin boyutu, veri setindeki sıklıklarına karşılık gelmektedir. Yazarların en çok kullandığı 4 anahtar kelime, veri setinde sırasıyla 26, 24, 22 ve 21 kez geçen "model", "ulaşım", "ulaştırma" ve "erişilebilirlik "tir. Bu anahtar kelimeler, Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım araştırmalarının odak noktalarının, ampirik çalışmaların çoğunun ulaştırma, ulaşım modelleri, CO2 Emisyonları ve zaman periyodu olduğunu göstermektedir. Ana temaları vurgulamak için, Şekil 9 yazarların anahtar kelimelerini onla sınırlandırmakta ve bunların zaman içinde nasıl kullanıldığını göstermektedir.



Şekil 9. Zaman içinde en sık kullanılan on yazarın anahtar kelime kullanımı

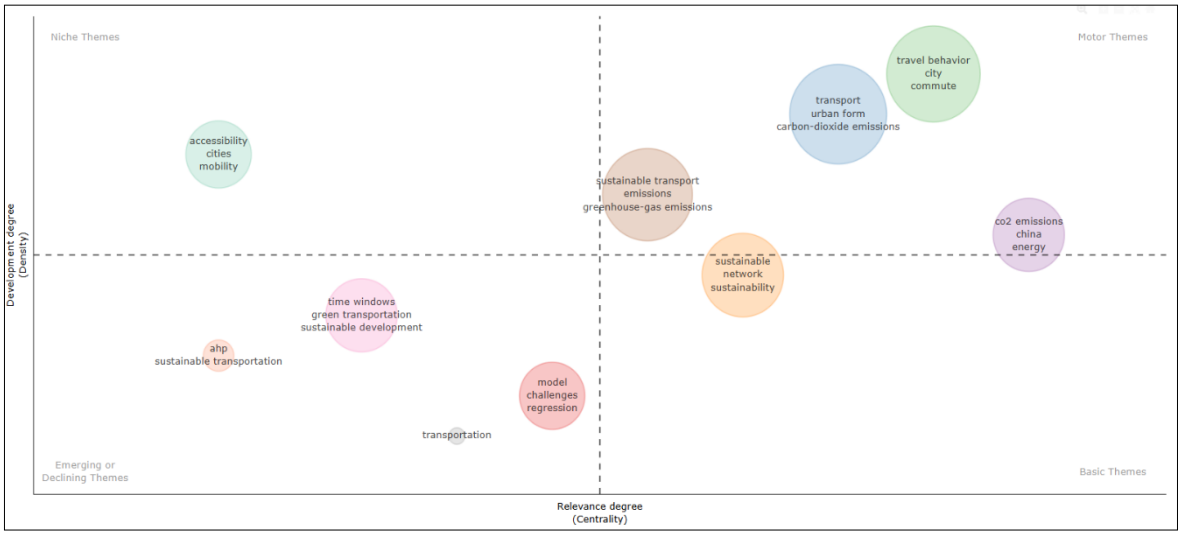
Model kelimesi, ilk olarak 2017'deki çalışmalarda geçmiştir.2018'de iki defa kullanılmış ve 2023 yılına kadar üçer defa kullanılmış. 2024 ve 2025 ise dört defa kullanılmıştır. Ulaşım ve ulaştırma kelimelerinde de benzer şekilde dağılım görülmüştür. 2013'teki çalışmalarda anahtar kelime olarak yansıtılan "sürdürülebilir ulaşım" kelimesinin, 2013'ten 2017'ye kadar birer kez geçtiği, 2018-2024 arasında ikişer kere geçtiği ve 2025 yılında ise üç kez geçtiği görülmektedir.

Daha derin bir anlayış elde etmek için, Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım konusundaki bilginin yapısını keşfetmek amacıyla anahtar kelimelerin birlikte bulunma ağı VOSviewer yazılımıyla analiz edildi. Anahtar kelime birlikte bulunma analizi, birden fazla yayında yer alan anahtar kelimeleri ve bunların birbirleriyle olan ilişkilerini inceler. Anahtar kelimeler düğümler oluşturur ve boyutları anahtar kelimenin sıklığını göstermektedir (Görsel 10).

Görsel 10. Anahtar kelime oluşum ağının görselleştirilmesi

Şekil 10'da daire ve etiket yazı tipi boyutu, anahtar kelimelerin birlikte bulunma sıklığına karşılık gelmektedir. Bu, daire veya yazı tipi boyutu ne kadar büyükse, birlikte bulunma sıklığının o kadar yüksek olduğu anlamına gelir. "Sürdürülebilir kalkınma hedefleri", "sürdürülebilir ulaşım" ve "ulaşım politikası" anahtar kelimeleri en yüksek sıklığa sahiptir ve aralarındaki mesafe, göreceli güç ve konu benzerliğini göstermektedir. Görsel 10'da aynı renk kümesindeki daireler, yayınlar arasında benzer bir konuyu göstermektedir. Şekil 10'daki ortak anahtar kelime ağı, her biri sürdürülebilir ulaşımın bir alt alanını temsil eden beş farklı kümeyi açıkça göstermektedir. Ana düğüm daireleri analiz edilerek, beş ana küme için uygun etiketler atanabilmektedir.

Temaların daha iyi anlaşılmasını sağlamak için tematik bir harita ve ilgili çalışmaların detaylı bir analizi yapılmıştır (Görsel 11). Harita, anahtar kelimeleri birbirleriyle olan bağlantılarına ve sıklıklarına göre kümelere ayırmaktadır. Kümenin boyutu, anahtar kelimelerin tekrarlanma sıklığına karşılık gelmektedir. Sonuç olarak, anahtar kelime tekrarlanma sıklığı ne kadar yüksekse, kümelerin çemberi o kadar büyük olmaktadır. Ayrıca, tematik harita iki özellikle karakterize edilmektedir: dikey eksende yoğunluk ve yatay eksende merkeziyet. Her kümenin konumu, merkeziyetine ve yoğunluğuna göre belirlenmektedir.



Görsel 11. Tematik harita

Yoğunluk, tema geliştirme düzeyini dahili anahtar kelime ilişkilendirmeleri aracılığıyla ölçerken, merkezilik temanın önemini harici anahtar kelime ilişkilendirmeleri aracılığıyla belirlemektedir. Merkezilik temanın önemini gösterirken, yoğunluk temanın gelişimini ölçmektedir. Bu özellikler, temaları Motor, Niche, Yükselen/Azalan ve Temel kategorilerine ayırmaktadır.

i. Motor Temaları

Bu tema, haritanın sağ üst kısmında bulunmaktadır. Yüksek merkezilik ve yoğunluk ile karakterize edilir, bu da onu iyi araştırılmış ve bir araştırma alanının yapılandırılması için önemli kılmaktadır. Algoritma, motor temaları altında dört küme oluşturmuştur. İlk küme "ulaşım, kentsel form, karbondioksit emisyonları", ikincisi "sürdürülebilir ulaşım, emisyonlar, sera gazı emisyonları", üçüncüsü "yolculuk davranışı, şehir, işe gidip gelmek", dördüncüsü " CO2 emisyonları, Çin, enerji" den oluşmaktadır. Temel olarak, mühendislik alanında çevresel sürdürülebilirlikle ilgili temalar motor temalarını oluşturmaktadır. Mod seçimi, yolculuk davranışı, işe gidip gelmek, şu anda Türkiye'de sürdürülebilir ulaşım çalışmalarının merkezinde yer almaktadır.

Bagdatli ve Godebey (2025) ile Tuydes Yaman ve Karatas (2017) yaptıkları çalışmalarda ulaşım modları üzerinedir. Bagdatli ve Godebey (2025) elektrikli scooter'ların sürdürülebilir ulaşımda doğru mod değişimini destekleme ve hareketlilikte daha fazla eşitlik sağlama potansiyeline dikkat çekmiştir. Çalışmalarında Türkiye'nin dokuz büyük şehrindeki üniversite

öğrencilerinin bakış açılarını ortaya koymaya odaklanan yüz yüze bir anket çalışmasıyla gerçekleştirmişlerdir. Üniversite öğrencilerinin e-scooter kullanımına ilişkin görüş ve tutumlarını almışlardır. Sonuçlar temel olarak e-scooter'ların mevcut ve gelecekteki kullanımını etkileyen değişkenleri sağladığını göstermektedir. Tuydes Yaman ve Karatas (2017) sürdürülebilir ulaşımın yürüyüş ve bisiklete binme yönüne dikkat çekmişlerdir. Çünkü daha sürdürülebilir kentsel ulaşıma giden yol haritasında çok önemli ve kritik olmasına rağmen, bir ulaşım türü olarak yürüme henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Yürümeye doğru bir ulaşım türü değişimi yaratmak için, bireyin yürüme algısının bir sonucu olarak seyahat davranışını değiştirmek önemli olduğunun altını çizmişlerdir.

Algoritma ayrıca sürdürülebilir ulaşımı, emisyonları ve sera gazı emisyonlarını haritanın merkezine çok yakın bir yere yerleştirmiştir. Bu konuların yaygın olarak çalışıldığı ve haritadaki diğer kümelerle bağlantılı olduğunu göstermektedir. Aslında araştırmacılar bu temaları gelişmekte olan, motor, niş ve temel konularla birlikte incelemektedir. Bu temalar, sürdürülebilir ulaşımın tüm yönleriyle son derece alakalıdır.

ii. Niche Temalar

Niche temalar yüksek yoğunluklu ve düşük merkeziliğe sahip olduğundan, kapsamlı bir şekilde incelenmiş olsalar da araştırma alanında sınırlı bir öneme sahiptirler. Bu alana dahil olan anahtar kelimeler arasında erişebilirlik, şehirler ve mobilite yer almaktadır. Erişilebilirlik, sürdürülebilir şehirler ve mobilite politikalarının merkezinde yer alarak kentsel yaşam kalitesinin artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Şehirlerde dengeli ve kapsayıcı bir ulaşım yapısının oluşturulması hem çevresel etkilerin azaltılmasına hem de sosyal ve ekonomik fırsatlara eşit erişimin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. Sürdürülebilir mobilite yaklaşımları; toplu taşımanın güçlendirilmesi, yaya ve bisiklet odaklı ulaşımın teşvik edilmesi ve akıllı ulaşım çözümlerinin uygulanması yoluyla şehirlerin daha yaşanabilir, düşük karbonlu ve erişilebilir hale gelmesini desteklemektedir. Bu doğrultuda erişebilirlik, yalnızca fiziksel hareketliliği değil, aynı zamanda tüm kent sakinlerinin sürdürülebilir bir geleceğe katılımını mümkün kılan temel bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

iii. Ortaya Çıkan veya Azalan Temalar

Sol alt kadranda, düşük yoğunluk ve merkeziliğe sahip, ortaya çıkan veya azalan temalar yer almaktadır. 2015’ten bu yana çalışmalardaki önemli artış göz önüne alındığında, temaların ortaya çıkması muhtemeldir. Araştırmacılar, sürdürülebilir ulaşımla ilgili bu konuları incelemeye başlamaktadır.

Algoritma bu bölgede dört ayrı küme oluşturmuştur. Sürdürülebilir ulaşım, sürdürülebilir kalkınma, ulaşım, yeşil ulaşım gibi anahtar kelimeler yer almaktadır. 2019 yılında yapılan çalışmada yeşil ulaşım anahtar kelimesi görülmektedir (Erdem ve Koç, 2019). Çalışmada, bir grup sağlık çalışanının elektrikli araçlar kullanarak istenen sayıda işi gerçekleştirdiği evde sağlık hizmeti rotalama problemini analiz etmişlerdir. Yönlendirme, planlama, şarj ve filo kompozisyon kararlarını dikkate alarak evde sağlık hizmeti yönlendirme problemindeki elektrikli araçları incelemişlerdir. Elektrikli araçlar çevre dostu olduğu için çalışmaya konu olan

problem, çevre dostu bir yönlendirme problemidir. Evde sağlık hizmetlerinde elektrikli araçların kullanımının ilk kez incelenmesi yönüyle de ön plana çıkmaktadır. Çalışmaları, sürdürülebilir ulaşımı geliştirmede ortaya çıkan teknolojilerin, elektrikli araçların kullanımının potansiyellerini vurgulamaktadır.

iv Temel Temalar

Bu temalar yüksek merkeziliğe sahip ancak düşük yoğunluğa sahiptir. Bu anahtar kelimeler, Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım alanında büyük öneme sahiptir. Algoritma, sürdürülebilir, ağ ve sürdürülebilirlik anahtar kelimelerle bir küme oluşturmuştur. Bu anahtar kelimelerin geçtiği çalışmalara bakıldığında her bir çalışmanın sürdürülebilir ulaşıma büyük katkılar sunduğu görülmektedir.

Simsek ve arkadaşları, çalışmalarında yolcuların seyahat davranışı kararlarını dikkate alan bir karar modeli önermişlerdir. Önerilen model, yolcuların seyahat davranışı kararlarıyla ilgilenen sürdürülebilir ulaşım alternatiflerini değerlendirme konusunda ilk çalışma olarak literatürde yer almaktadır. İstanbul'da sürdürülebilir ve geleneksel ulaşım modları dahil olmak üzere yedi toplu taşıma alternatifi belirlenmişlerdir. Sonuçlara göre, hizmet sıklığı, araç türü ve mekanizması ve erişilebilirlik kolaylığı, seyahat davranışı kararlarını etkileyen en önemli üç kriter olarak elde etmişlerdir. Metro, Marmaray ve metrobüs ilk üç toplu taşıma alternatifi arasında yer almıştır. Ayrıca, yolcuların seyahat davranışı kararlarını analiz ederken, sürdürülebilir kalkınma hedefleri 11.2 ve 11.b'ye erişilebilir, uygun fiyatlı, çevre dostu, güvenli ve sürdürülebilir bir toplu taşıma sistemi tasarlayarak ulaşılabildiği sonucuna varmışlardır (Simsek vd., 2025). Eryılmaz ve Tezcan, çalışmalarında ise talep yönetimi için işe gidiş-geliş yolculuklarının optimizasyonu değerlendirmişlerdir. Yolculuk mesafelerinin değiştirilmesinden elde edilen faydaları yeniden dağıtan bir ulaşım teşvik modeli önermişlerdir. Önerilen model, bireylerin hane halkı konumlarını daha esnek bir şekilde belirlemelerine ve çevresel konulara da önem vermelerine olanak tanımaktadır (Eryılmaz ve Tezcan, 2019).

Ulaşım planlamasında zamanın değerinin (VoT) (value of time) bilinmesi önemli belirleyici bir noktadır. Geleneksel bir toplu taşıma planlamasında, öncelikle uygulanması gereken kararlar ve uygulama programları, analitik yöntemler yerine sezgisel yöntemlerle belirlenmektedir. Her bölge için VoT'nin hesaplanması ve bu değerlerin toplu taşıma anketlerinin korelasyonu yoluyla incelenmesi, yatırım yapılabilir bölgelerin belirlenmesi sürecinde önemli olabilmektedir. Gulhan ve Ozuysal, çalışmalarında, toplu taşıma anketlerini kategorize ederek VoT tahminleri karşılaştırmışlardır. Güvenilirlik, sürücü davranışı, rota ve durma durumu göstergelerinin bölge önceliğinin seçilmesinde tutarlılık sağladığı sonucunu elde etmişlerdir (Gulhan ve Ozuysal, 2020).

Tematik analiz, sürdürülebilir, ağ ve sürdürülebilirlik gibi anahtar kelimeler doğrultusunda Türkiye'de sürdürülebilir ulaşımı nasıl geliştirebileceği konusunda daha fazla geliştirmeye ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Türkiye'de yürüme ve bisiklete binme gibi motorsuz ulaşımın politikalarını ve planlamasını etkilemek için ek çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

4. SONUÇLAR

Ulaşım, günlük faaliyetlerin yürütülmesinde hayati bir rol oynar ve aynı zamanda sera gazı emisyonlarına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle, daha sürdürülebilir bir ulaşım sisteminin benimsenmesine vurgu yapılmaktadır. Çok sayıda çalışma, sürdürülebilir ulaşımın çeşitli yönlerini incelemiştir, ancak bu çalışmaları, özellikle Türkiye'de gelecekteki araştırma yönünü etkilemek için incelemeye yönelik sınırlı bir çaba vardır. Bu çalışma, sürdürülebilir ulaşımla ilgili araştırmaları inceleyerek, üretken yazarları, bağlantıları, baskın araştırma temalarını, bilgi eksikliklerini ve gelecekteki araştırmalar için yönleri belirlemeyi amaçlamaktadır.

Bu çalışma için Web of Science veri tabanından toplam 31 bibliyografik veri toplanmış ve kullanılmıştır. Etkili araştırmacılar arasında Çimen ve Soysal (2017), Demir (2007), Kalaycı vd. (2021) ve Erdem ve Koç (2019) yer almaktadır. Sıkça kullanılan yazarların anahtar kelimeleri arasında "model", "ulaşım", "ulaştırma", "çevre" ve "sürdürülebilir ulaşım" yer almaktadır. Anahtar kelime kullanımlarının analizi, her biri sürdürülebilir ulaşımın temelini temsil etmektedir.

Bulguların kabulü, çalışmanın bazı sınırlamalarının dikkate alınmasını gerektirmektedir. Özellikle, çalışma yalnızca Web of Science veri tabanından İngilizce olarak yayınlanmış makalelerini içermektedir. Bu çalışma Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım araştırmalarına kapsamlı bir genel bakış sunarak mevcut bilgi birikimine katkıda bulunduğunu belirtmek önemlidir. Seçilen makalelerin dahil edilmesinin güçlü bilimsel temelleri ve hem sistematik nicel hem de nitel yöntemlerin kullanımı, incelemenin etkinliğini artırmaktadır. Bu çalışma, ulaşım planlaması ve politika yapımında yer alan hem akademisyenler hem de bu konuda çalışanlar için faydalıdır, çünkü baskın araştırma konularına ve bilgi boşluklarına ışık tutmakta ve Türkiye'deki sürdürülebilir ulaşım alanında daha fazla araştırmaya değer alanları vurgulamaktadır.

KAYNAKÇA

Alemdar, K. D., Çodur, M. Y. (2024). A New Approach to Detect Driver Distraction to Ensure Traffic Safety and Prevent Traffic Accidents: Image Processing and MCDM. Sustaınability, 16(17). https://doi.org/10.3390/su16177642

Alganci, U., Aldogan, C. F., Akin, Ö., Demirel, H. (2024). Application of artificial intelligence in prediction of future land use / land cover for cities in transition: a comparative analysis. Envıronment Development And Sustainability. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05743-7

Alhindawi, R., Nahleh, Y.A., Kumar, A., Shiwakoti, N., 2020. Projection of greenhouse gas emissions for the road transport sector based on multivariate regression and the double exponential smoothing model. Sustainability 12 (9152), 1–8. https://doi. org/10.3390/su12219152.

Alpkokin, P., & Ergun, M. (2012). Istanbul Metrobus: first intercontinental bus rapid transit. Journal of Transport Geography, 24, 58–66. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2012.05.009

Alpkokin, P., Black, J. A., Iyinam, S., Kesten, A. S. (2016). Historical analysis of economic, social and environmental impacts of the Europe-Asia crossings in Istanbul. International Journal Of Sustainable Transportation, 10(2), 65–75. https://doi.org/10.1080/15568318.2013.853852

Alpkokin, P., Kiremitci, S. T., Black, J. A., Cetinavci, S. (2016). LRT and street tram policies and implementation in turkish cities. JOURNAL OF TRANSPORT GEOGRAPHY, 54, 476–487. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.10.004

Babalik-Sutcliffe, E. (2013). Urban Form and Sustainable Transport: Lessons from the Ankara Case. International Journal Of Sustainable Transportation, 7(5), 416–430. https://doi.org/10.1080/15568318.2012.676152

Bagdatli, M. E. C., Godebey, G. (2025). Electric scooter use: The perspective of university students. Journal Of Transport & Health, 42. https://doi.org/10.1016/j.jth.2025.102039

Bagdatli, M. E. C., Ipek, F. (2022). Transport mode preferences of university students in post-COVID-19 pandemic. Transport Policy, 118, 20–32. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2022.01.017

Bao, L., Kusadokoro, M., Chitose, A., Chen, C., 2023. Development of socially sustainable transport research: a bibliometric and visualization analysis. Travel Behav. Soci. 30 (September 2022), 60–73. https://doi.org/10.1016/j.tbs.2022.08.012.

Bassi, A.M., Pallaske, G., Ni˜no, N., Casier, L., 2022. Does sustainable transport deliver societal value? Exploring concepts, methods, and impacts with case studies. Future Transport. 2 (1), 115–134. https://doi.org/10.3390/futuretransp2010007.

Baykasoglu, A., Subulan, K. (2019). A fuzzy-stochastic optimization model for the intermodal fleet management problem of an international transportation company. Transportation Planning And Technology, 42(8), 777–824. https://doi.org/10.1080/03081060.2019.1675316

Canitez, F., Alpkokin, P., Kiremitci, S. T. (2020). Sustainable urban mobility in Istanbul: Challenges and prospects. Case Studıes On Transport Polıcy, 8(4), 1148–1157. https://doi.org/10.1016/j.cstp.2020.07.005

Coruh, E., Bilgic, A., Cengiz, V., Urak, F. (2024). Uncovering the determinants of bottom-up CO2 emissions among households in Türkiye: Analysis and policy recommendations. Journal Of Cleaner Productıon, 469. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143197

Coruh, E., Urak, F., Bilgic, A., Yen, S. T. (2022). The role of household demographic factors in shaping transportation spending in Turkey. Environment Development And Sustaınabılıty, 24(3), 3485–3517. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01575-x

Coruh, E., Yildiz, M. S., Urak, F., Bilgic, A., Cengiz, V. (2025). Motivating Green Transition: Analyzing Fuel Demands in Turkiye Amidst the Climate Crisis and Economic Impact. Sustaınability, 17(11). https://doi.org/10.3390/su17114851

Çimen, M., Soysal, M. (2017). Time-dependent green vehicle routing problem with stochastic vehicle speeds: An approximate dynamic programming algorithm. Transportatıon Research Part D- Transport And Environment, 54, 82–98. https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.04.016

Demir, M. (2007). Impacts, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey. Transportation Research Part A-Policy And Practice, 41(1), 56–68. https://doi.org/10.1016/j.tra.2006.05.006

Erdem, M. (2023). Optimisation of the electric truck route for milk collection problem: a real case study. Transportation Letters-The Internatıonal Journal Of Transportation Research, 15(3), 193–210. https://doi.org/10.1080/19427867.2022.2044581

Erdem, M., Koç, Ç. (2019). Analysis of electric vehicles in home health care routing problem. Journal Of Cleaner Productıon, 234, 1471–1483. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.236

Eryilmaz, Y., Tezcan, H. O. (2019). Towards a compact macroform: commuter line optimization in Istanbul. Transportatıon Letters-The International Journal of Transportation Research, 11(3), 130–145. https://doi.org/10.1080/19427867.2017.1299345

Gulhan, G., Ozuysal, M. (2020). A novel decision-making support model based on value of time for public transport planning. Proceedings of The Institution of Civil Engineers-Transport, 173(1), 39–50. https://doi.org/10.1680/jtran.17.00158

Gudmundsson, H., Hall, R.P., Marsden, G., Zietsman, J., 2022. Sustainable transportation. Indicators, frameworks, and performance management. In: first ed. Energy, Environment, and Sustainability. Springer. https://doi.org/10.1007/978- 981-16-8717-4_2. January.

Haddow, G., 2018. Bibliometric research. In: Research Methods: Information, Systems, and Contexts, second ed. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102220- 7.00010-8.

Hulagu, S., Celikoglu, H. B. (2022). Environment-Friendly School Bus Routing Problem With Heterogeneous Fleet: A Large-Scale Real Case. Ieee Transactıons On Intelligent Transportation Systems, 23(4), 3461–3471. https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3036696

Kabakus, N., Eyuboglu, M. (2024). Comparative Analysis of Countries in Terms of Sustainable and Green Transportation Using Multi-Criteria Decision Making Approach. Ksce Journal Of Cıvıl Engıneerıng, 28(12), 5863–5876. https://doi.org/10.1007/s12205-024-1697-9

Kalayci, S., Artekin, A. Ö. (2024). The Linkage between Truck Transport, Trade Openness, Economic Growth, and CO2 Emissions within the Scope of Green Deal Action Plan: An Empirical Investigation from Turkiye. Polısh Journal Of Envıronmental Studıes, 33(3), 3231–3245. https://doi.org/10.15244/pjoes/175592

Kovaˇci´c, M., Mutavdˇzija, M., Buntak, K., 2022. Sustainability_14_09525. Sustainability 14 (15).

Luiza, A., Ferrer, C., Antonio, M., 2023. Carbon Emissions in Transportation: A Synthesis Framework.

Meyer, T., 2020. Decarbonizing road freight transportation – a bibliometric and network analysis. Transport. Res. Transport Environ. 89 (November), 102619 https://doi. org/10.1016/j.trd.2020.102619.

Murat, Y. S., Cakici, Z., Knoflacher, H., OcalirAkunal, E. V. (2017). Comparative Analysis of Public Transport Users' Perception Targeting Sustainable Transportation. In Engıneerıng Tools And Solutıons For Sustaınable Transportatıon Plannıng (pp. 76–98). https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2116-7.ch004

Mühl, D.D., de Oliveira, L., 2022. A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0. Heliyon 8 (5), e09369. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09369.

Onac, A. K., Cetin, M., Sevik, H., Orman, P., Karci, A., Sutcuoglu, G. G. (2021). Rethinking the campus transportation network in the scope of ecological design principles: case study of Izmir Kâtip celebi University cigli Campus. Envıronmental Scıence And Pollutıon Research, 28(36), 50847–50866. https://doi.org/10.1007/s11356-021-14299-2

Page, M.J., Mckenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Mayo-wilson, E., Mcdonald, S., Mcguinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., et al., 2021. The PRISMA 2020 statement : An updated guideline for reporting systematic reviews Asbj ø rn Hr o 88 (March). https://doi. org/10.1016/j.ijsu.2021.105906.

Ren, R., Hu, W., Dong, J., Sun, B., Chen, Y., Chen, Z., 2020. A systematic literature review of green and sustainable logistics: bibliometric analysis, research trend and knowledge taxonomy. Int. J. Environ. Res. Publ. Health 17 (1). https://doi.org/ 10.3390/ijerph17010261.

Roman, M., 2022. Sustainable Transport : A State-Of-The-Art Literature Review.

Simsek, P. B., Özdemir, A., Kosunalp, S., Iliev, T. (2025). Choosing Sustainable and Traditional Public Transportation Alternatives Using a Novel Decision-Making Framework Considering Passengers' Travel Behaviors: A Case Study of Istanbul. Sustainability, 17(13). https://doi.org/10.3390/su17135904

Song, Y., Chen, X., Hao, T., Liu, Z., Lan, Z., 2019. Exploring two decades of research on classroom dialogue by using bibliometric analysis. Comput. Educ. 137 (April), 12–31. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.002.

Tuydes-Yaman, H., Karatas, P., Knoflacher, H., Ocalir Akunal, E. V. (2017). Evaluation of Walkability and Pedestrian Level of Service. In Engineering Tools And Solutions For Sustainable Transportation Planning (pp. 30–57). https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2116-7.ch002

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2023). Karayolu trafik kaza istatistikleri (2015–2024). Ankara: TÜİK.

Ülker, D., Bayirhan, I., Mersin, K., Gazioglu, C. (2021). A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region. Carbon Management, 12(1), 1–12. https://doi.org/10.1080/17583004.2020.1852853

Ülengin, F., Isik, M., Ekici, S. Ö., Özaydin, Ö., Kabak, Ö., Topçu, Y. I. (2018). Policy developments for the reduction of climate change impacts by the transportation sector. Transport Policy, 61, 36–50. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.008

Yilmaz, Z., Erol, S., Öcalir-Akunal, E. V, Knoflacher, H., OcalirAkunal, E. V. (2017). A Comparison of Transport Modes in Terms of Energy Consumption. In Engıneering Tools And Solutions For Sustainable Transportation Planning (pp. 254–269). https://doi.org/10.4018/978-1-5225-2116-7.ch011

Yildirim, Z. B., Özuysal, M. (2024). Autonomous Vehicles and Urban Traffic Management for Sustainability: Impacts of Transition of Control and Dedicated Lanes. Sustaınabılıty, 16(19). https://doi.org/10.3390/su16198323

Yanik, S., Aktas, E., Topcu, Y. I. (2017). Traveler satisfaction in rapid rail systems: The case of Istanbul metro. International Journal of Sustainable Transportation, 11(9), 642–658. https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1301602

Zhao, X., Ke, Y., Zuo, J., Xiong, W., Wu, P., 2020. Evaluation of sustainable transport research in 2000–2019. J. Clean. Prod. 256, 120404 https://doi.org/10.1016/j. jclepro.2020.120404.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KARABÜK İLİNDE AKILLI ULAŞIM UYGULAMALARINDA YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Sema YAKUT

Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
semayakut78@gmail.com- 0009-0001-1753-3685

Dr. Öğretim Üyesi Özlem BATTAL ŞAL

Karabük Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ozlembattal@karabuk.edu.tr- 0000-0002-2308-7933

Özet

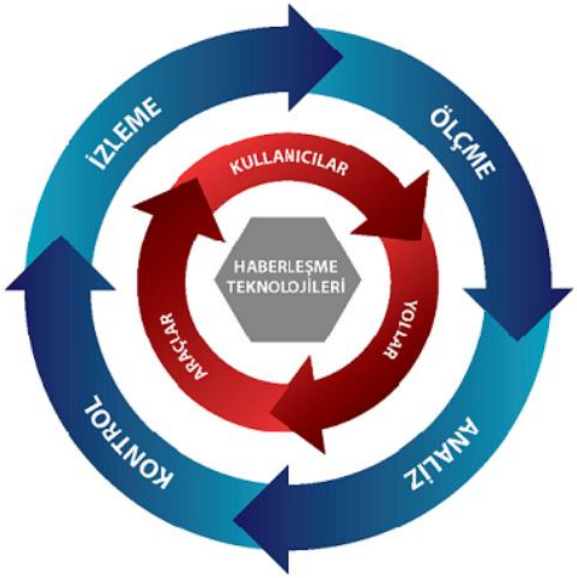
Sanayi devriminden bu yana hızla artan kentleşme, şehirlerdeki ulaşım sorunlarını daha görünür hale getirmiş ve yerel yönetimlerin sürdürülebilir, verimli ve kullanıcı odaklı çözümler üretmesini zorunlu kılmıştır. Bu kapsamda, akıllı şehir stratejilerinin önemli bileşenlerinden biri olan Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), trafik sıkışıklığı, güvenlik, çevresel etkiler ve hizmet kalitesi gibi alanlarda etkin çözümler sunmaktadır. AUS; veri analitiği, sensörler, iletişim teknolojileri ve yapay zekâ uygulamalarıyla ulaşım altyapısının dijital dönüşümünü desteklemekte, ulaşım verimliliğini ve kullanıcı memnuniyetini artırmaktadır. Bu çalışma, Karabük ilinde akıllı ulaşım uygulamaları kapsamında yolcu bilgilendirme sistemlerinin mevcut durumunu incelemeyi ve geliştirilmesine yönelik öneriler sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında Karabük Belediyesi'nin ulaşım planları, ulusal mevzuatlar ve uluslararası göstergeler karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiş; kent içi toplu taşıma araçlarının konum, güzergâh ve tahmini varış süreleri hakkında bilgi sağlayan akıllı durak ve yolcu bilgilendirme sistemleri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, yolcu bilgilendirme sistemlerinin hem toplu taşıma hizmetlerinin yönetiminde hem de yolcu memnuniyetinin artırılmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca çalışmada önerilen uygulama ve eylemler, yalnızca Karabük ili için değil, benzer yapıya sahip diğer kentler için de uygulanabilir niteliktedir. Bu yönüyle çalışma, yerel yönetimlerin akıllı ulaşım çözümleri geliştirmelerine katkı sağlayacak bir model sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Ulaşım Sistemi, Akıllı Şehir, Yolcu Bilgilendirme Sistemi

1. GİRİŞ

Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS); seyahat sürelerinin azaltılması, trafik güvenliğinin arttırılması, mevcut yol kapasitelerinin optimum kullanımı, mobilitenin arttırılması, enerji verimliliği sağlanarak ülke ekonomisine katkı sağlamak ve çevreye verilen zararın azaltılması gibi amaçlar doğrultusunda geliştirilen kullanıcı-araç-altyapı-merkez arasında çok yönlü veri alışverişi ile izleme, ölçme, analiz ve kontrol içeren sistemlerdir (Görsel 1) (Tektaş vd., 2016)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 1. Akıllı ulaşım sistemlerinin tanımı

1970'li yıllarda yol kapasitelerinin yetersiz kalmaya başlaması, AUS çalışmalarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu dönemden itibaren Avrupa, Amerika ve Japonya'da AUS'ye yönelik çeşitli bölgesel projeler hayata geçirilmiştir. 1990'lı yıllardan sonra ise Akıllı Ulaşım Sistemleri, özellikle gelişmiş ülkelerde hızla yaygınlaşarak ulaşım planlamasının önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir.

AUS; otomotivden ulaştırmaya, sağlıktan çevreye, haberleşmeden bilişim ve yazılım teknolojilerine kadar birçok alanla ilişkili olup, bu sektörlere katkı sunan yapısıyla disiplinler arası bir kavram olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yerel yönetimlerin AUS uygulamalarını bölgelerinde hayata geçirdiğinde, trafik kazalarında ve trafik sıkışıklığında azalma olduğu, emisyon hacminin azaldığı, yol ve sürüş güvenliğinin arttığı ve bunların sonucu olarak mobilitenin arttığı dünyanın çok farklı bölgelerinde test edilerek ispat edilmiş ve literatürde gösterilmiştir. Bu anlamda, AUS uygulamalarının faydaları ve AUS bilinci yerel yönetimden merkezi yönetime kadar oluşturulacak bir organizasyon tarafından tanıtılıp yaygınlaştırılarak tüm ülkenin erişilebilir, güvenli, konforlu ve çevreci bir ulaşıma sahip olması sağlanmalıdır. Bu yönü itibarı ile AUS, tüm sektörlere katkı sağlaması açısından son yılların en cazip ilgi alanlarından biri haline gelmiştir (Tektaş M. ve Tektaş N., 2017)

Toplam yolculuk süresi araç içi ve araç dışı süreler (yürüme/erişim süresi ve bekleme süresi) olarak ikiye ayrılmaktadır. Araç dışında geçen sürenin önemli bir kısmını oluşturan bekleme süresi, araç içi zamanından daha belirleyici bir faktör olarak değerlendirilmektedir ve genellikle ulaşım türü seçimini etkileyen en kritik unsur olarak gösterilmektedir. Bu nedenle, durağa erişim süresinin kısaltılması, kent içi otobüs sistemlerinin tasarımında başlı başına bir amaç fonksiyonu olarak kabul edilmektedir (Murat vd., 2014). Yapılan çalışmalar, ortalama bir yolculuk süresinin yaklaşık %10 ila %30'u durakta bekleme aşamasında geçtiğini göstermektedir (Victoria Transport Policy Institute, 2015).

Dünya genelinde büyük şehirlerde toplu taşımacılığın ulaşım içindeki payı genellikle sabit kalmakta veya azalma eğilimindeyken, trafik hacimleri her yıl artış göstermektedir. Yolcuları kendi özel araçlarının sunduğu konfordan vazgeçirmekte zorluk yaşandığı için, bu hedefe ulaşabilmek amacıyla öncelikle yolcu davranışlarına odaklanılmakta ve yolculuk öncesinde zamanında ve doğru bilgiler sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu bilgiler, yolcuların ulaşım türleri, güzergâhlar ve kalkış zamanları hakkında bilinçli kararlar almasına imkân tanımaktadır (Casey vd., 2000).

Yolcu bilgilendirme sistemleri, kullanıcıların karayolu, ulaşım ağı ve yolculukları için önemli olan bilgileri almalarını sağlamak amacıyla birçok teknolojiyi kullanmaktadır. Bu bilgiler yolcuların kendileri için en uygun ulaşım türünü (otomobil, tren, otobüs), güzergâhı ve varış zamanını seçmelerine yardımcı olmaktadır. Ulaşım çizelgesi ve durum bilgisi ulaşım yönetim sistemlerinden elde edilebilmektedir. Karayolu tabanlı çoğu bilgi, gözetim cihazları aracılığıyla toplanmakta (araç sensörü, kameralar, otomatik araç konumu belirleme sistemleri) ve yolcu bilgi sistemlerine iletilmek için ulaşım yönetim merkezlerinde bulunan bilgisayarlar tarafından işlenmektedir (USDOT, 1998).

Karabük'te akıllı ulaşım uygulamalarına yönelik çalışmaların başlangıç aşamasında olduğu bilinmektedir. Karabük, gelişmiş sanayisi ve sahip olduğu kentsel dinamikler sayesinde Batı Karadeniz bölgesinde önemli bir çekim merkezi konumundadır. Bununla birlikte, nüfus artışı, otomobil sahipliğindeki yükseliş ve trafik sorunlarının belirginleşmesi, Karabük ili için akıllı şehir çözümlerini zorunlu hale getirmektedir. Bu çalışma kapsamında, Karabük için akıllı şehir bileşenlerinden biri olan akıllı ulaşım sistemlerine yönelik uygulama ve eylem önerileri sunulmuştur. Karabük için önerilen yolcu bilgilendirme sistemleri, park et–devam et uygulamaları, trafik bilgilendirme sistemleri ve entegre ödeme sistemlerini içeren bu çalışma, akıllı ulaşım sistemlerine yönelik özgün bir model ortaya koymakta ve uygulama adımlarını tanımlamaktadır. Ayrıca çalışmada, geleceğe yönelik beklentilere de yer verilmiştir.

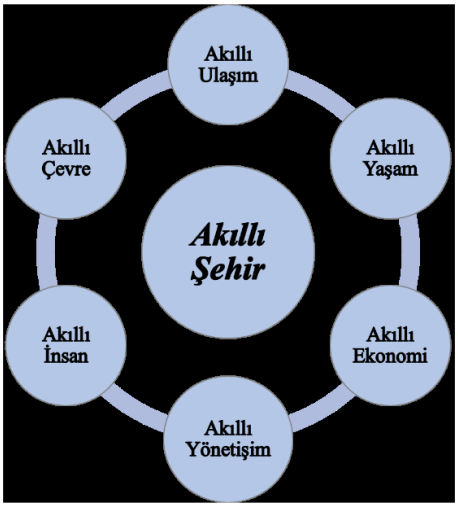
2.LİTERATÜR TARAMASI

Dünya genelinde ülkeler dijital dönüşüme uyum sağlamak amacıyla yoğun teknoloji yatırımları yapmaktadır. Mobil cihaz sahipliğinin nüfusun büyük bölümüne yayılması ve internet erişiminin artması, şehirlerin işleyişini doğrudan etkileyen dijital bir altyapı oluşturmuştur (OECD, 2020). Yapay zekâ, nesnelerin interneti, otonom sistemler, biyoteknoloji ve enerji depolama gibi alanlardaki hızlı gelişmeler, şehirleri yeniden şekillendiren bir itici güç haline gelmiştir. Bu dönüşümün sonucu olarak akıllı şehir konsepti ortaya çıkmış; akıllı telefon uygulamaları, veri gösterge panoları, bilgi ekranları, operasyon merkezleri ve geri bildirim odaklı dijital platformlar şehir yönetiminde yaygınlaşmıştır. Sokak aydınlatmasından şikâyet yönetimine kadar pek çok belediye hizmeti artık büyük veri, gerçek zamanlı izleme ve otomasyon teknolojileri sayesinde daha etkili bir şekilde planlanmakta ve sunulmaktadır (UN-Habitat, 2020).

Akıllı şehir kavramı, teknolojinin hızlı ilerlemesi ve dijital dönüşümün etkisiyle zaman içinde önemli bir evrim geçirmiştir. Başlangıçta, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmelerin sunduğu ekonomik imkânları değerlendirmeyi amaçlayan, özel sektör odaklı ve daha çok arz yönlü bir anlayışla şekillenmiştir. Avrupa Birliği 2014 yılında akıllı şehirleri; dijital ve

iletişim teknolojileri kullanılarak geleneksel kentsel hizmetlerin daha etkin ve verimli hale getirildiği yerleşimler olarak tanımlamıştır. Birleşmiş Milletler ise 2016'da akıllı şehir yaklaşımını; dijitalleşme, temiz enerji kaynakları ve yenilikçi ulaşım çözümlerinin sunduğu fırsatların değerlendirildiği, kentlilerin çevreye duyarlı seçimler yapmasını kolaylaştıran, sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen ve kamu hizmetlerinin niteliğini yükselten bir model olarak ifade etmiştir (UN-Habitat, 2016).

Akıllı şehirler, birbirini tamamlayan altı temel bileşenden oluşmaktadır (Elvan, 2017): akıllı yaşam, akıllı ekonomi, akıllı yönetişim, akıllı insan, akıllı çevre ve akıllı ulaşım (Görsel 2). Akıllı yaşam bileşeni; sağlık hizmetleri, güvenlik, konut ve sosyal refahı artırmaya yönelik teknolojik çözümlerle bireylerin yaşam alanlarını daha kolay yönetebilmesini ve çevresiyle daha güçlü bir etkileşim kurmasını hedeflemektedir. Akıllı ekonomi ise melek yatırımcılık ekosistemlerinden desteklenen küçük işletmelere, eğitimli iş gücünden yerel markaların güçlendirilmesine kadar pek çok unsurun teknolojiyle entegre çalışmasını sağlayarak kent kaynaklarının etkin kullanımını amaçlayan bir yapıyı ifade etmektedir (Özdil, 2017).



Görsel 2. Akıllı şehir bileşenleri (Özmen vd., 2022)

Akıllı ulaşım, şehir içi hareketliliğin teknolojik araçlarla optimize edilmesine odaklanmaktadır. Bu yaklaşımda yolculuk, sürücü ve araçlara ilişkin veriler gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte, böylece ulaşım süreçleri daha etkin şekilde yönetilebilmektedir. Akıllı trafik sinyalizasyonu, akıllı otopark sistemleri, yönlendirme panoları ve dijital ödeme çözümleri gibi uygulamalar sayesinde kent içi trafik akışı daha düzenli ve konforlu bir hale gelmektedir (Özmen vd., 2022).

Toplu taşımada bekleme süresi, yolcu memnuniyetini doğrudan etkileyen temel unsurlardan biri olup, özellikle kent içi otobüs taşımacılığında yolcuların ulaşım türü ve güzergâh tercihlerini değiştirebilecek düzeyde belirleyici olabilmektedir. Yapılan modelleme çalışmalarında, yolcu bilgilendirme sistemlerinin bekleme süresini anlamlı ölçüde azalttığı, sistemin güvenilirliğinin ise bu azalmayı destekleyen önemli bir etken olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca bilgilendirme teknolojilerinin, kent merkezine hizmet veren hatlar tarafından kullanılan ve fiziksel özellikleri uygun olan duraklarda uygulanmasının daha etkili sonuçlar verdiği belirlenmiştir (Doğan G., Özuysal M., 2017).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Literatürde yer alan çalışmalar göstermektedir ki hem dünyada hem de ülkemizde akıllı şehirlerin önemli bir bileşeni olan akıllı ulaşım alanında çok sayıda çalışma yapılmış ve bu çalışmaların giderek artması beklenmektedir. Karabük Belediyesi'nin 2025–2029 Stratejik Planı'nda (Url-1) da toplu taşıma ağının güçlendirilmesine yönelik hedefler yer almakta olup, kentin ulaşım sisteminin modern teknolojilerle desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışma ile, akıllı ulaşım kapsamında uygulanabilir çözüm önerileri ve eylem planları sunularak hem mevcut literatüre katkı sağlanması hem de akıllı ulaşım uygulamaları bulunmayan yerel yönetimler için yol gösterici bir model oluşturulması amaçlanmıştır.

3.YOLCU BİLGİLENDİRME SİSTEMLERİ

Dünya genelinde büyük şehirlerde toplu taşıma sistemlerinin kullanım oranı çoğunlukla sabit kalırken, trafik hacimleri her yıl artış göstermektedir. Bu durum, yolcuları özel araç kullanımından vazgeçirmenin zorlaşmasına ve yolculuk öncesinde doğru, güvenilir ve zamanında bilgilendirme yapılmasının kritik bir gereklilik haline gelmesine yol açmaktadır. Yolculara tercih edilecek ulaşım türü, güzergâh alternatifleri, araçların kalkış saatleri ve varış tahminleri gibi bilgilerin sunulması, bilinçli karar verme süreçlerini doğrudan desteklemekte ve toplu taşıma sistemlerine yönelik güveni artırmaktadır (Casey vd., 2000). Bu kapsamda yolcu bilgilendirme sistemleri; toplu taşıma ağının durumu, varış tahminleri ve güzergâh bilgisi gibi yolculuk açısından önemli verilerin aktarılmasını sağlayan çok bileşenli teknolojik yapılardır (USDOT, 1998). Bu sistemlerde kullanılan veriler, araç dedektörleri, kameralar ve otomatik araç konum belirleme sistemleri gibi gözetim cihazları aracılığıyla toplanmakta, ulaşım yönetim merkezlerinde işlenerek gerçek zamanlı bilgiye dönüştürülmekte ve durak ekranları, hat içi LED göstergeler, mobil uygulamalar ve kablosuz bilgilendirme panoları üzerinden yolculara iletilmektedir. Böylelikle gecikmeler, yaklaşan araçlar, durak konumu ve varış süreleri gibi kritik bilgiler gerçek zamanlı olarak paylaşılmakta; bu da hem bekleme süresine yönelik algıyı iyileştirmekte hem de toplu taşımaya yönelik kullanıcı davranışlarını olumlu yönde etkilemektedir (Marks J., 2001).

Görsel 3. Akıllı durak örneği (Url-2)

Bu bağlamda Türkiye'de geliştirilen Ulusal Ulaştırma Portalı (UUP), şehirlerarası ve şehir içi yolculuklarda varış sürelerini, alternatif ve daha kısa güzergâh önerilerini yolcu ve şoförlere sunan, mobil erişimi kolay bir sistem olarak öne çıkmaktadır. UUP'nin seyahat planlama modülü, gidilecek noktaya hangi ulaşım türleriyle ve ne kadar sürede erişilebileceği gibi bilgileri sağlayarak yolculuk planlamasını kolaylaştırmaktadır. Bunun yanı sıra, yolculuğu aksatabilecek hava durumu, yol çalışmaları, kaza bilgileri, toplu taşıma durakları ve bilet satış yerleri gibi çok sayıda bilgi de kullanıcıya sunulmaktadır (UDHB, 2013a). Ayrıca kar, sis gibi hava olayları ile trafik yoğunluğu gibi olağan dışı durumlarda anlık bilgilendirme yapılabilmesi için mesaj bildirimleri ve dinamik trafik işaretleri de sistem içerisinde yer almaktadır. Dolayısıyla UUP, gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme sistemlerinin ulusal ölçekte desteklendiği önemli bir uygulama olup hem yolcu memnuniyetinin artırılmasına hem de karayollarının daha verimli kullanılmasına katkı sağlamaktadır (UDHB, 2013b).

4.YÖNTEM

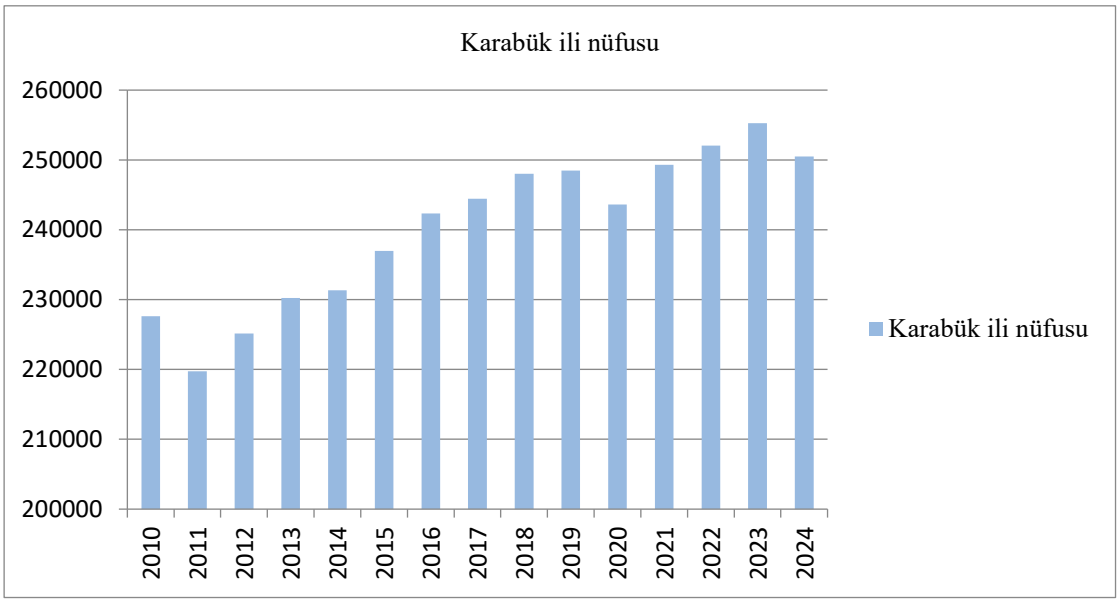
Sürekli artan nüfus, yoğunlaşan trafik problemleri ve şehirlerin küresel gelişmelere uyum sağlama zorunluluğu, son yıllardaki teknolojik ilerlemelerle birlikte akıllı şehir yaklaşımını önemli bir çözüm alternatifi hâline getirmiştir. Bu çalışmada, akıllı şehirlerin temel bileşenlerinden biri olan AUS'un Karabük kentinin ulaşım ihtiyaçlarını karşılamada etkili bir araç olabileceği düşüncesi temel alınmıştır. Araştırmanın çıkış noktası, "Akıllı bir şehir oluşturabilmek ve kentsel altyapıyı teknolojiyle bütünleştirerek ulaşım sorunlarını çözebilmek için yerel yönetimlerin akıllı ulaşım uygulamalarına ve stratejik eylemlere yönelmesi gereklidir." anlayışıdır.

Literatür taramasında, dünya çapında artan kentleşmenin yarattığı sorunlar, akıllı şehir kavramının bu sorunlara sunduğu çözüm yaklaşımı ve dijitalleşmenin şehirlerdeki yansımaları incelenmiştir. Bu doğrultuda hem uluslararası hem de Türkiye'deki akıllı ulaşım uygulamalarının mevcut durumu değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, AUS'lara ilişkin literatürü inceleyerek Karabük ilinde hangi uygulamaların mevcut olduğu, hangilerinin ise uygulanabilir olması gerektiğini ortaya koymak ve bu doğrultuda öneriler geliştirmektir. Bu kapsamda çeşitli ülkelerden ve Türkiye'nin farklı illerinden örnek uygulamalar analiz edilmiştir. Araştırma sürecinde ayrıca Karabük Belediyesi'nin 2025–2029 Stratejik Planı'nda yer alan hedef ve politikalardan faydalanılmıştır.

5.BULGULAR

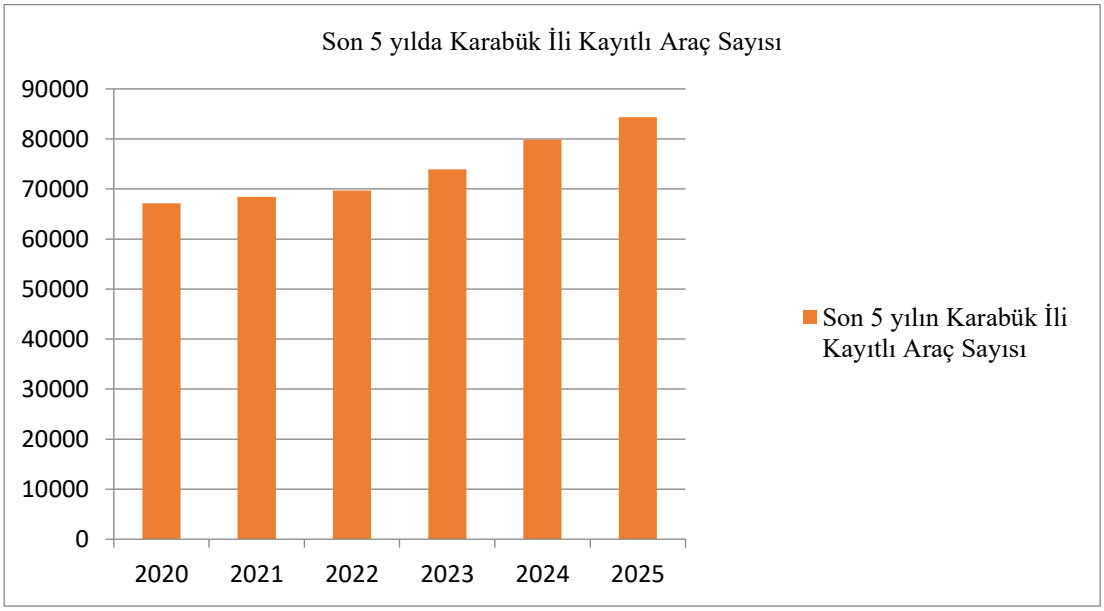
Günümüz akıllı şehir anlayışında, trafik güvenliğinin artırılması, yolculuk sürelerinin azaltılması, kaynakların daha verimli kullanılması, ulaşım kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirilmesi ve kullanıcı memnuniyetinin artırılması temel hedefler arasında yer almaktadır. Bu hedeflere ulaşabilmek için ulaşım altyapısı, yönetim merkezleri, araçlar ve sürücüler arasında çift yönlü ve kesintisiz bir veri iletişiminin sağlanması gerekmektedir. Bu iletişim; sensörler, gelişmiş bilgi işlem altyapıları, haberleşme teknolojileri ve çeşitli donanımsal unsurlar aracılığıyla gerçekleşmekte olup, AUS yaklaşımının temelini oluşturmaktadır.

1935 yılında Zonguldak-Ankara demiryolunun hizmete açılması ve akabinde ülkenin ilk ve en büyük ağır sanayi kuruluşu olan Demiri-Çelik işletmelerinin temellerinin atılması Karabük kentinin gelişimindeki ilk etap olarak ortaya çıkmaktadır. Demir-Çelik İşletmelerinin istihdam kapasitesi ve buna bağlı diğer sınai ve ticari sektörlerde başlayan canlılık, bölgenin tüm ülke genelinden göç alarak hızla büyümesine neden olmuş, Merkez nüfusundaki en büyük artış ise 1955 -1960 döneminde görülmüştür. Karabük nüfusu 2023 yılına göre 255.242'dir. Yüzölçümü 4.103 km2 olan Karabük ilinde kilometrekareye 60 insan düşmektedir. Karabük nüfus yoğunluğu 60/km2'dir (Url-3). Görsel 4'te Karabük ilinin TÜİK verilerine göre nüfus artış grafiği gösterilmiştir.



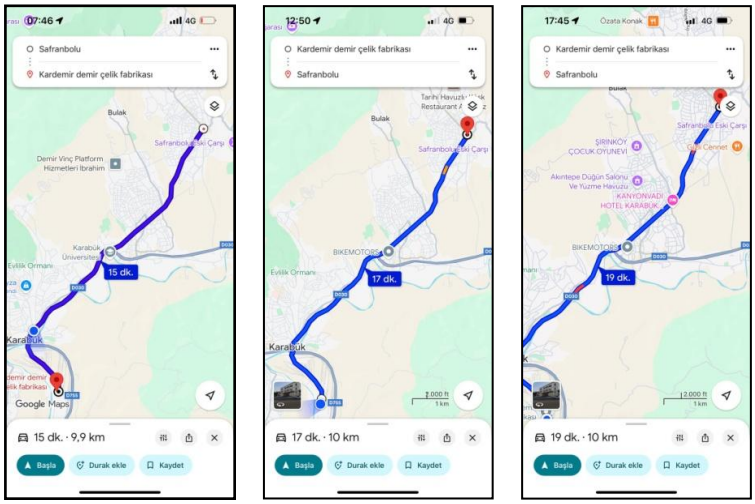
Görsel 4.Karabük ili yıllara göre nüfusu (TÜİK)

Görsel 5’te, TÜİK verileri kullanılarak 2020-2025 yılları arasında Karabük ilindeki yıllık motorlu kara taşıtı sayısının değişimini gösteren grafik sunulmaktadır.



Görsel 5. Karabük ili motorlu kara taşıtları sayısı (yıllık)

Karabük'te nüfusa oranla araç sahipliğinin yüksek olması, günün belirli zaman dilimlerinde ve özellikle kentin merkezi bölgelerinde trafik yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Kent içi ulaşımın değerlendirilmesi amacıyla, literatürde yaygın olarak kabul edilen zaman aralıkları esas alınarak sabah, öğle ve akşam zirve dönemleri tanımlanmıştır. Bu çerçevede, günün farklı zaman dilimlerinde trafik yoğunluğunun kentin merkezi alanlarında daha belirgin hale geldiği kabul edilmektedir. Söz konusu yoğunlukların, özellikle merkez bölgelerde seyahat hızlarını olumsuz yönde etkilediği ve ulaşım performansını düşürdüğü değerlendirilmektedir. Bu durum, Karabük kentinde trafik akışının daha etkin yönetilebilmesi ve yoğunlukların azaltılabilmesi amacıyla akıllı ulaşım sistemi uygulamalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Çalışmanın sonuçları Görsel 6'da verilen haritalarda sunulmuştur.



(a) (b) (c)

Görsel 6. (a) Sabah (b) Öğle ve (c) Akşam zirve saatleri haritaları

Karabük Belediyesi tarafından hazırlanan ve 2025–2029 yıllarını kapsayan Stratejik Plan'ın yedinci amacı, kent içi ulaşıma yönelik hedefleri içermektedir (Url-3). Bu kapsamda, kentte toplu taşıma uygulamalarının modern, çağdaş, konforlu ve güvenli bir yapıya kavuşturulması; vatandaşların güvenli, teknolojik ve çağdaş ulaşım araçlarıyla seyahat edebilmesini sağlamak temel hedef olarak belirlenmiştir.

Karabük ili özelinde yolcu bilgilendirme sistemine yönelik sınırlı sayıda da olsa bazı uygulamaların hayata geçirildiği görülmektedir. Karabük'te 2015 yılı itibarıyla akıllı durak sistemlerinin kurulmasına yönelik çalışmaların başlatıldığı görülmüştür. Bu kapsamda duraklara yerleştirilen dijital ekranlar aracılığıyla otobüslerin tahmini varış sürelerinin yolculara aktarılması, bunun yanı sıra ulusal ve yerel haberler, belediye duyuruları, hava durumu ve döviz kurları gibi bilgilerin anlık olarak paylaşılması hedeflenmiştir. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda, söz konusu uygulamaların güncel durumu, etkinliği ve sürekliliği hakkında yeterli ve doğrulanabilir veriye ulaşılamamıştır. Bu durum, Karabük ilinde başlatılan akıllı durak uygulamalarının mevcut kullanım düzeyinin ve performansının değerlendirilmesine yönelik ek çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

2025 yılı itibarıyla elde edilen güncel bilgilere göre, Karabük Belediyesi (Url-4), şehir içi toplu taşımada yolcu konforunu artırmaya yönelik yeni nesil ulaşım çözümlerini hayata geçirmeye hazırlanmaktadır. Bu kapsamda, kapalı ve klimalı otobüs duraklarının kente kazandırılmasına yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Yeni nesil duraklar; kapalı alan yapısı, iklimlendirme sistemi, modern mimari tasarımı, bilgilendirme ekranları ve aydınlatma donatıları ile yolculara dört mevsim boyunca konforlu bir bekleme ortamı sunmayı amaçlamaktadır. Söz konusu uygulamanın, Karabük'te akıllı durak sistemlerinin geliştirilmesi ve şehir içi ulaşım altyapısının modernizasyonu açısından önemli bir adım olacağı değerlendirilmektedir.

Karabük Belediyesi'nin resmi internet sitesinde (Url-4) yayımlanan bilgilere göre, şehir içi ulaşım hizmetlerine yönelik olarak geliştirilen "Karabük Ulaşım" mobil uygulaması kullanıma sunulmuştur. Söz konusu uygulama aracılığıyla kullanıcılar, harita tabanlı ara yüz üzerinden kart merkezlerinin konumlarını görüntüleyebilmekte, fiziksel ulaşım kartlarını dijital hesaplarına tanımlayabilmekte, kart bilgileri ve işlem geçmişlerini takip edebilmekte ve mevcut fiziksel kartlarına bakiye yükleme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Bu uygulamanın, toplu taşıma kullanıcılarına erişilebilirlik, işlem kolaylığı ve zaman tasarrufu sağlayarak şehir içi ulaşım hizmetlerinin dijitalleşmesine katkı sunduğu değerlendirilmektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, Karabük ilinde akıllı ulaşım sistemlerine yönelik farkındalığın ve planlama düzeyindeki yaklaşımın mevcut olduğunu, ancak uygulamaların henüz bütüncül ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmadığını göstermektedir. Karabük Belediyesi'nin 2025–2029 Stratejik Planı'nda kent içi ulaşıma özel bir hedef tanımlanmış olması, yerel yönetimin toplu taşıma hizmetlerini daha modern, güvenli ve teknolojik bir yapıya dönüştürme yönünde irade ortaya koyduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, sahadaki uygulamaların sınırlı olması, akıllı ulaşım hedefleri ile fiili uygulamalar arasında bir boşluk bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Karabük'te geçmiş yıllarda başlatılan akıllı durak uygulamalarına ilişkin güncel ve ölçülebilir verilerin bulunmaması, bu tür sistemlerin performansının izlenmesi, etkinliğinin değerlendirilmesi ve sürekliliğinin sağlanması açısından önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmektedir. Bu durum, akıllı ulaşım uygulamalarının yalnızca kurulmasının yeterli olmadığını; sistemlerin işletme, bakım, güncelleme ve kullanıcı geri bildirimleriyle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, mevcut ve planlanan akıllı durak sistemlerinin performans göstergeleri üzerinden düzenli olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi önerilmektedir.

Öte yandan, yeni nesil kapalı ve klimalı durak uygulamalarının hayata geçirilmesi, Karabük'te yolcu konforunu artırmaya yönelik olumlu ve güncel bir gelişme olarak öne çıkmaktadır. Bu tür uygulamaların, yalnızca fiziksel konforu artırmakla sınırlı kalmayıp, gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme sistemleri ile entegre edilmesi durumunda akıllı ulaşım yaklaşımına daha güçlü bir katkı sunacağı değerlendirilmektedir. Bu bağlamda, durakların dijital bilgilendirme altyapılarıyla desteklenmesi önerilmektedir.

Karabük ulaşım mobil uygulamasının kullanıma sunulması, kentte ulaşım hizmetlerinin dijitalleşmesi açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir. Ancak bu tür uygulamaların, yolcu bilgilendirme sistemleri, gerçek zamanlı araç konum bilgileri ve seyahat planlama fonksiyonları ile bütünleşik hale getirilmesi, kullanıcı deneyimini ve sistemin etkinliğini daha da artıracaktır. Bu doğrultuda, mobil uygulamaların akıllı ulaşım sistemlerinin merkezî bir bileşeni olarak ele alınması ve diğer ulaşım bileşenleriyle entegrasyonunun sağlanması önerilmektedir.

Sonuç olarak, Karabük ilinde akıllı ulaşım sistemlerine yönelik planlama ve uygulama girişimleri bulunmakla birlikte, bu uygulamaların daha sistematik, ölçülebilir ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerin, Karabük özelinde akıllı ulaşım uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlamasının yanı sıra, benzer ölçekli şehirler için de yol gösterici nitelikte olduğu düşünülmektedir.

Karabük ilinde mevcut akıllı ulaşım uygulamalarının, bütüncül bir akıllı ulaşım yaklaşımı çerçevesinde ele alınmasının, sistemlerin birbiriyle uyumlu ve entegre bir yapı içerisinde geliştirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Geçmiş yıllarda başlatılan akıllı durak ve yolcu bilgilendirme uygulamalarının güncel durumunun, kullanım sürekliliğinin ve etkinliğinin değerlendirilmesi, mevcut sistemlerin geliştirilmesine yönelik yol gösterici olacaktır.

Yeni nesil kapalı ve klimalı durak uygulamalarının, fiziksel konforun yanı sıra gerçek zamanlı bilgi sunan dijital sistemlerle desteklenmesi, yolcu memnuniyetinin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

Karabük Ulaşım mobil uygulamasının, gerçek zamanlı araç takibi, tahmini varış süreleri ve seyahat planlama gibi işlevlerle zenginleştirilmesi, şehir içi toplu taşıma hizmetlerinin kullanımını daha cazip hale getirebilecektir.

Akıllı ulaşım sistemleri kapsamında elde edilecek verilerin, trafik yönetimi ve ulaşım planlaması süreçlerinde değerlendirilmesi, özellikle kent merkezinde yaşanan trafik yoğunluğunun azaltılmasına yönelik karar destek mekanizmalarını güçlendirecektir.

Toplu taşıma kullanımının teşvik edilmesi amacıyla, akıllı ulaşım uygulamalarına ilişkin bilgilendirme ve farkındalık çalışmalarının artırılmasının, kullanıcıların sistemlere adaptasyonunu kolaylaştıracağı düşünülmektedir.

Toplu taşıma araçları içerisine yerleştirilecek araç içi bilgilendirme ekranlarının, yolcuların güzergâh ve durak bilgilerine anlık erişimini sağlayarak seyahat deneyimini olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir.

Akıllı otobüs duraklarında bilgi ekranlarının kullanılması, yolcu bilgilendirme sistemlerinin etkinliğini artırarak bekleme süresinin daha yönetilebilir algılanmasına katkı sunacaktır.

Kent genelinde yolcu erişimini kolaylaştırmak amacıyla, akıllı kart dolum istasyonlarının yoğun kullanılan noktalarda konumlandırılmasının, toplu taşıma sistemlerinin kullanımını destekleyici bir unsur olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Casey, R. P., Lawrence, N. L., Moniz, L., Royal, J. W., Sheehan, M., Sheehan, T., Advanced Public Transportation Systems: The State of the Art, Research and Special Programs Administration Volpe National Transportation Systems Center Office of System and Economic Assessment Operations Assessment Division, Cambridge, MA, 2000.

Doğan, G., & Özuysal, M. Toplu Ulaşımda Bekleme Süresini Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi: Güvenilirlik, Yolcu Bilgilendirme Sistemi ve Fiziksel Koşullar. Teknik Dergi, 28(3), 7927-7954. https://doi.org/10.18400/tekderg.307513

Durrande Moreau, A., Waiting for Service: Ten Years of Empirical Research. International Journal of Service Industry Management, 10 (2), 171- 194, 1999

Elvan, L. (2017). Akıllı Şehirler: Lüks Değil İhtiyaç. İTÜ Vakfı Dergisi, 77, 6-10.

Marks, J., How Transit Agencies are Leveraging the Web for Traveller Information. Newsletter of the ITS Cooperative Deployment Network, 2001.

M. Tektaş, K. Korkmaz ve H. Erdal, "Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Geleceği Ekonomik ve Çevresel Faydaları", no. (Yayın No: 3374936), 2016.

M. Tektaş ve N. Tektaş, "Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) Uygulamalarının Sektörel Dağılımı ve Analizi," %1 içinde IASOS Uluslararası Uygulamalı Sosyal Bilimler Kongresi, Eylül, 2017.

Murat, Y.Ş., Kutluhan, S., Uludağ, N., Use of Fuzzy Optimization and Linear Goal Programming Approaches in Urban Bus Lines Organization. Soft Computing in Industrial Applications, 223, 277-287, 2014.

OECD. (2020). Building on the outcomes of the 1st OECD Roundtable on Smart Cities and Inclusive Growth, OECD Publishing.

Özdil, S. (2017). Şehirlerimiz Nasıl Akıllanır? İTÜ Vakfı Dergisi, 77, 20-22.

Özmen, T.; Özmen, E.; Taşkın, S. & Bulut, S. (2022)

UDHB. 2013a. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı Ulusal Akıllı Ulaşım Sistemleri.

UDHB. 2013b. 11. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Şûrası, Karayolu Çalışma Grubu Raporu. Ankara: UDHB

UN-Habitat. (2020). World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization, UN-Habitat, Nairobi.

UN-Habitat. (2016). Urbanization and Development Emerging Futures: World Cities Report 2016, UN-Habitat, Nairobi.

U. S. Department of Transportation (USDOT), Developing Traveller Information Systems Using the National its Architecture. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, Washington DC, 1998.

U. S. Department of Transportation (USDOT), Developing Traveller Information Systems Using the National its Architecture. Intelligent Transportation Systems Joint Program Office, Washington DC, 1998

Victoria Transport Policy Institute, Transit Station Improvements: Improving Public Transit Waiting Conditions. Victoria, Canada, www.vtpi.org, 2015.

URL 1: https://www.karabuk.bel.tr/dosyalar/karabukbelediyesi-2025-2029-stratejikplan.pdf

URL 2: https://akillisehir.denizli.bel.tr/akillidurak.html

URL 3: https://www.karabuk.bel.tr/haber.asp?id=100668464

URL 4: https://www.karabuk.bel.tr/duyurular.asp?bm=16777720

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Na_2SO_4 ETKİSİNDEKİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA NANO SİLİKA KULLANIMIN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

THE EFFECT OF NANO SİLİCA USE ON COMPRESSİVE STRENGTH İN SELF-COMPACTİNG MORTARS UNDER Na_2SO_4 INFLUENCE

Doç. Dr. Melek AKGÜL
Munzur Üniversitesi,
melekakgul@munzur.edu.tr - 0000-0001-8815-3762

ÖZET

Çalışma kapsamında iki farklı çimento türü ve her çimento türü için %0,1,3,5,7 oranında çimentoya nano silika (NS) ikame edilerek 10 seri kendiliğinden yerleşen harç (KYH) üretilmiştir. Üretilen tüm serilerin standart su kürü ve Na_2SO_4 derişimli su kürü sonrası basınç dayanımı değişimleri değerlendirilmiştir. Tüm seriler 7 ve 28 gün olmak üzere iki farklı periyotta kür edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre artan NS miktarı standart ve Na_2SO_4 derişimli su kürü sonrası sırasıyla %3 mertebesine kadar basınç dayanımı kayıplarını azaltıcı etki sunmaktadır. Bu hali ile çalışma hem çimentonun daha az kullanımına teşvik edici hem de agresif ortamına bağlı aşındırıcı etkiyi optimum düzeye taşıyacak NS miktarını belirlemesi bağlamında önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen harç, Nano silika, Na_2SO_4, Basınç dayanımı.

ABSTRACT

Within the scope of the study, two different types of cement were used, and 10 series of self-leveling mortar (SLM) were produced by substituting nano silica (NS) into the cement at ratios of 0.1%, 3%, 5%, and 7% for each cement type. The changes in compressive strength of all produced series were evaluated after standard water curing and Na_2SO_4-concentrated water curing. All series were cured for two different periods: 7 and 28 days. According to the results of the study, increasing NS content reduces compressive strength losses by up to 3% after standard and Na_2SO_4-concentrated water curing, respectively. In this context, the study is significant in that it encourages the use of less cement and determines the NS content that will optimize the abrasive effect associated with aggressive environments.
Keywords: Self-compacting mortars, Nano silica, Na_2SO_4, Compressive strength.

1. GİRİŞ

Çimentoya olan ihtiyacı azaltmak için sanayi yan ürünü ve çimentoya ikame ürün arayışı her geçen yıl artmaktadır. 1–100 nm ölçeğindeki nanopartiküller harç elemanların üretiminde çimentoya alternatif bir ürün olarak kabul edilmektedir [1]. Nanopartiküller arasındaki NS; geçirimlilik ve durabiliteye olan katkısı ile bilinir ve bu sebeple tercih edilir. [2]. Beton ya da harçların üretiminde kullanılan NS'lar geçirgenlik direnici ve mekanik performansı iyileştirmektedir. Çünkü çimento-agrega arayüzünde mikro yapıyı güçlendirir ve hem kalsiyum silikat hidrat (C–S–H) oluşumunu destekler hem de harç matrisi-agrega ara yüzündeki geçiş bölgelerindeki nano boyutlu boşluklarda tampon görevi üstlenir [3].

Yapılar çevresel kirlilik nedeniyle sülfat ve klorür tuzları başta olmak üzere çeşitli aşındırıcılara maruz kalmaktadır. Harç ve çimentoların maruz kaldıkları aşındırıcı ortam, fiziksel ve kimyasal değişimin yanı sıra mikro yapısal değişikliklere sebep olmaktadır. Araştırmalara konu olan önemli bir sorunsal olarak sülfat saldırısı; genellikle sülfat iyonlarının kalsiyum hidroksit ve kalsiyum alüminat hidrat ile reaksiyona girmesine ve devam eden süreçte yapıların genleşmesine, çatlamasına ve bozulmasına yol açar [4]. Sülfat direncini artırmak için daha geçirimsiz üretimler, azaltılan S/B oranı, farklı puzolanların ya da katkılı çimentonun kullanılması en çok tercih edilen çözüm yollarıdır [4][5] [6] [7][8] [9] [10].

Artan işçilik ve uzayan imalat süreçlerinin zaman ve maliyet kayıplarını bertaraf etmek için geliştirilen KYH'lar, çoklu değişkenler dizisine bağlı yeni nesil bir üretim tekniğidir. Özellikle sık donatılı dar kalıplı elemanların imalatında ve yapı hasarlarının güçlendirilmesinde tercih edilmektedir [11] [12] [13]. Bu sistemler, sunduğu artan mekanik performans ve uygulama kolaylığı nedeniyle pratik avantajlara sahiptir. Bunun yanı sıra imalat reçeteleri ve üretim süreçleri hassas çalışma gerektirir. Bu üretim sistemleri, geleneksel üretim sistemlerine kıyasla daha hacimli ancak aynı zamanda daha viskoz bir matris ile tasarlanır [14][15]. Taze betonun kendiliğinden sıkışma kabiliyeti; genellikle kendi ağırlığı altında akma yeteneği olarak tanımlanır; bu süreçte yeterli homojenliğin korunması ve ayrışmaması aranan en temel özelliktir. Bu yetenek, taze betonun uygun reolojik özelliklerinin ve yeterli plastik viskozitenin düşük akma gerilimiyle birlikte tahsis edilmesine bağlıdır [16].

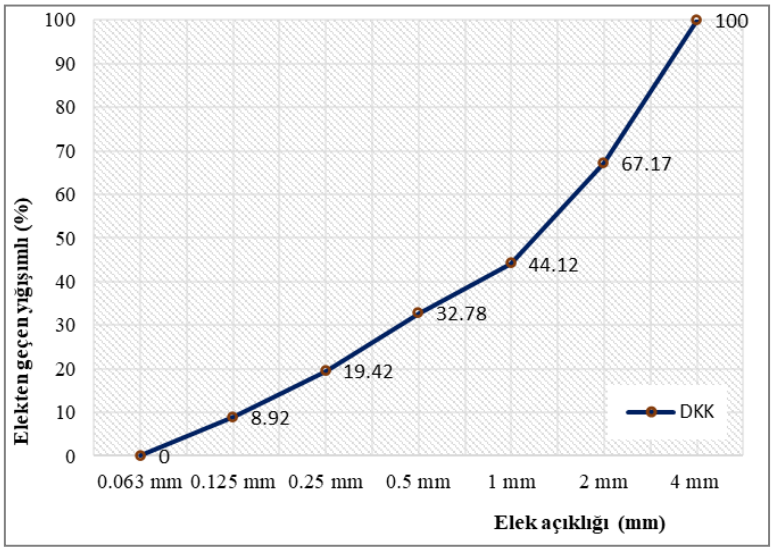
KYH sistemlerinin taze hal özellikleri ve imalat süreci diğer harç sistemlerinden farklıdır. Mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra durabilitesi üzerinde de etkili olan bu özellikler işlenebilirlik, kıvam ve vizkozitesi ile doğrudan ilişkilidir. Taze hal özellikleri sağlanırken ihtiyaç duyulan su miktarını azaltmak için özel katkı maddeleri kullanılır [17][18], [19].

Böylece yüksek su/bağlayıcı oranına bağlı dezavantajlar bertaraf edilmiş olmaktadır. Ayrıca katkı miktarının optimum düzeyin üzerinde kullanılması priz süresinin uzaması anlamına gelir ve bu durum KYH'lerde istenmeyen bir sonuçtur [14], [16].

Agresif ortamlardaki KYH'lerın iyileştirilmesi için çimentoya ikame ürün arayışı ve ilave ürün desteği en sık başvurulan yöntemlerdir. Bu çalışmada NS çimentoya farklı oranlarda ikame edilerek standart su kürüne kıyasla %10 Na_2SO_4 derişimli kür şartlarının etkisi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

10 farklı KYH serisinin tasarlandığı çalışmada, toplamda 60 adet 50x50x50x mm'lik numune üretilmiştir. KYH'ların üretiminde iki tür çimento kullanılmıştır. Bunlar CEM I 42.5 R ve CEM IV / B (P) 32.5 R – SR'dir [4]. Ayrıca çimentolara ağırlıkça %0,1,3,5,7 oranında NS'nın kısmi ikamesi uygulanmıştır. Agrega olarak Tunceli ili taş ocaklarından temin edilen doğal kırma kum (DKK) kullanılmıştır. DKK ön eleme işlemi ile 0-4 mm elek aralığı sağlanmıştır. DKK'ın elek analizine bağlı granülometri eğrisi Görsel 1'de verilmiştir [1].



Görsel 1. Agreganın granülometri eğrisi

Karışımların hazırlanmasında TS EN 1008'e uygun dinlendirilmiş şehir şebeke suyu kullanılmıştır [20] . Tüm serisinde S/B oranı 0.40 olarak alınmıştır. Gerekli vizkozite ve taze hal özelliklerinin sağlanması için çimento miktarının % 0.20 - 2.50 oranında polikarboksilik eter esaslı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır [21] [22]. KYH numunelerin üretiminde 2 adet referans seri olmak üzere toplamda 10 seri harç tasarımı yapılmıştır. Çimento miktarı 550 kg/m^3, etkili su miktarı 220 kg/m^3'tür. Tüm malzemenin genel görünümü Görsel 2'de verilmiştir. NS, DKK

ve akışkanlaştırıcının özgür ağırlığı sırasıyla 2,20, 2,48 ve 1.109'dır. Karışım tasarımında kullanılan çimentoların teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Görsel 2. CEM I, CEM IV, DKK, NS, akışkanlaştırıcı, su

Karışımlarının üretiminde 3 dm^3 kapasiteli laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Metal kalıplara yerleştiren harç numuneleri kalıp alma süresi sonunda kalıplardan çıkarılmıştır. Çimento türü ve NS ikame durumuna göre kodlanan numunelerin yarısı 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doygun standart su küründe diğer yarısı ise %10 Na_2SO_4 derişimli çözeltide 7 ve 28 gün bekletilmiştir. CEM IV / B (P) 32.5 R – SR ile üretilen seriler Grup1, CEM I 42,5 R ile üretilen seriler ise Grup 2 olarak kodlanmış ve grafiksel gösterimlerde bu şekilde ifade edilmiştir. 7 ve 28 günlük kür süresin sonunda tüm numuneler ile basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneyde 250 kN kapasiteli üniversal test pres makinesi kullanılmıştır. Elde edilen veriler grafikler ile yorumlanmış ve değerlendirilmiştir [23].

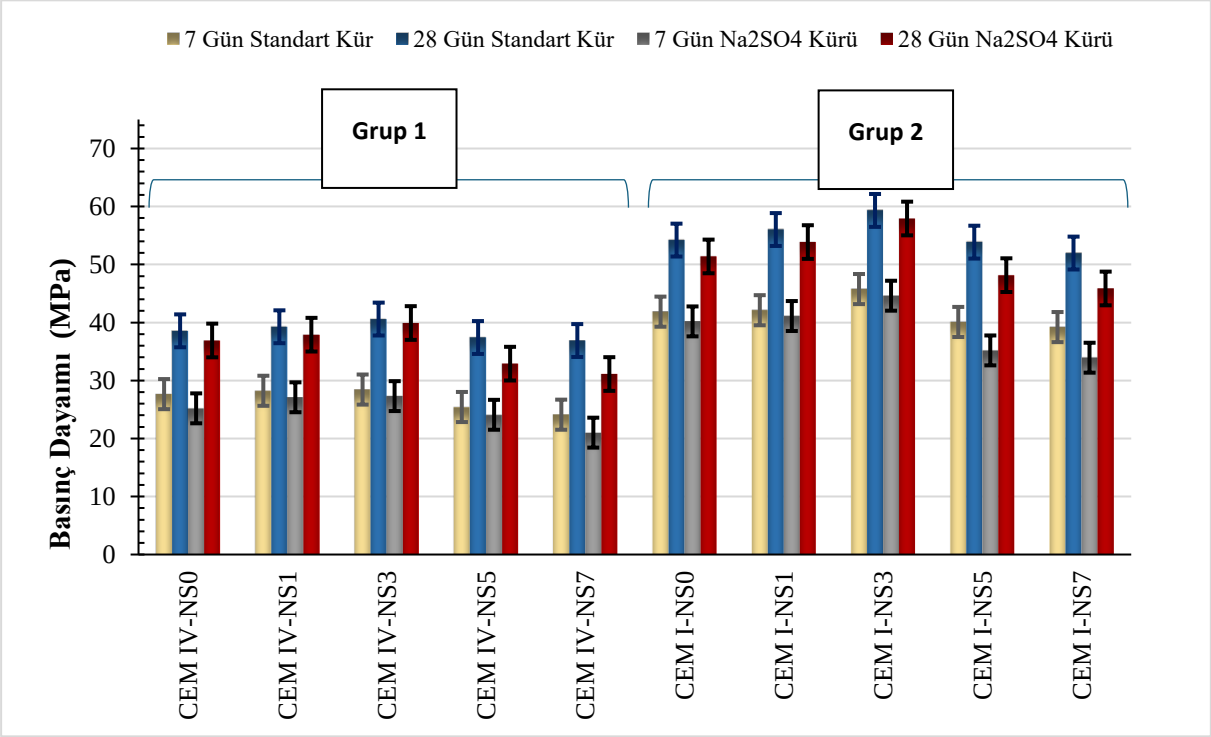
Çizelge 1. Çimentoların özellikleri

Kimyasal birleşim (%)	CEM I 42,5 R	CEM IV / B (P) 32.5 R – SR
CaO	61.04	48.63
SiO_2	19.65	25.11
Al_2O_3	5.04	7.30
Fe_2O_3	3.46	5.05
MgO	1.84	2.65
SO_3	3.85	2.84
K_2O	0.71	1.02
Na_2O	0.56	1.42
SCaO	3.56	---
C_3A	7.53	---
Katkı		34.11

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

7 ve 28 gün standart su kürü ve Na_2SO_4 derişimli suda kür edilen küp numunelerin basınç dayanımı verileri Görsel 3'te verildiği gibidir. Artan kür süresi tüm serilerde basınç dayanımı üzerinde pozitif etkiye sahiptir. Tüm serilerde standart su kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımı Na_2SO_4 derişimli su kürü uygulanan numunelerin basınç dayanımından daha

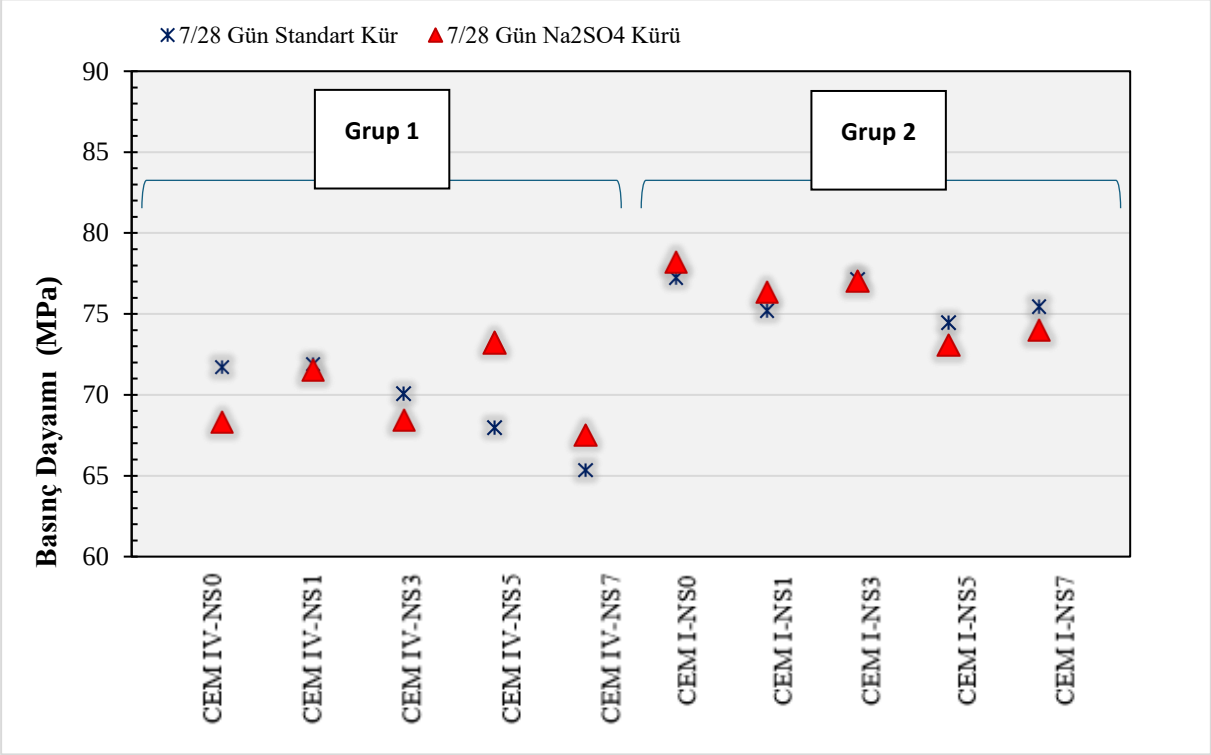
yüksektir. Ayrıca Grup 1'deki numunelerin basınç dayanımı tüm yaş ve tüm kür şartlarında Grup 2'deki numunelerin basınç dayanımından daha düşüktür. Artan NS miktarı Grup 1'de %3 mertebesine kadar basınç dayanımı üzerinde pozitif etki sunmaktadır. Benzer durum Grup 2'deki numuneler için de %3 NS ikame durumuna işaret etmektedir. Grup 1'de en yüksek basınç dayanımı 7 ve 28 günlük numuneler için CEM IV NS3 serisinde kaydedilmiştir. Bu değerler 7 ve 28 gün için sırasıyla 28.44 MPa ve 40.60 MPa'dır. Grup 2'de en yüksek basınç dayanımı 7 ve 28 gün için CEMI NS3 serisinde kaydedilmiştir. Bu değerler 7 ve 28 gün için sırasıyla 45.76 MPa ve 59.13 MPa'dır. En düşük basınç dayanımı değerleri Grup 1 ve Grup 2 için Na_2SO_4 derişimli serilerden elde edilmiştir. Grup 1 için CEM IV NS7 serisinde 21.01 MPa ve 31.12 MPa olan en düşük basınç dayanımı, Grup 2 için CEMI NS7'de 33.93 MPa ve 45.87 MPa'dır.



Görsel 3. 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları

Görsel 4'te tüm serilerin 28 günlük basınç dayanımlılarının 7 gün içinde kazanım oranı verilmiştir. Buna göre Grup 2'deki serilerin Grup 1'deki serilere nazaran erken yaştaki basınç dayanımını kazanımı daha fazladır. Grup 2'deki serilerde CEM I 42.5 R kullanılmış olması bu sonuçlar üzerinde etkilidir. Ayrıca NS miktarındaki artış Grup 1ve Grup 2 için kendi serileri arasında değerlendirildiğinde; ilk günlerdeki basınç dayanımı kazanımına katkı sağlamaktadır. Na_2SO_4 derişimli ortamda kür edilen serilerde Grup 1 için %5 ve %7 NS ikame edilen serilerin

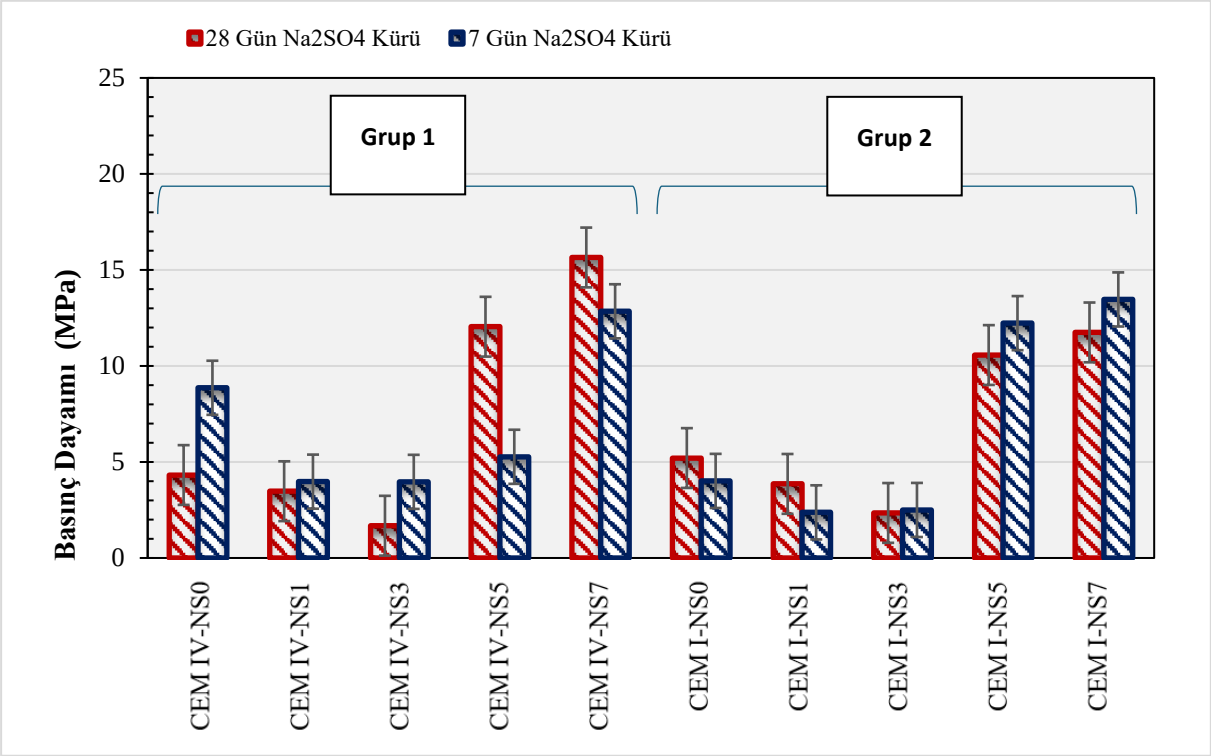
7 günlük basınç dayanımın kazanımı standart su kürü uygulanan serilerden daha fazladır. Bu durum Grup 2 için %0, %1 ve %3 NS ikame edilen serilerde kaydedilmiştir. Sonuçlar Grup 2'de NS kullanımının ilerleyen kür süresi ile basınç dayanımına daha fazla katkı sağladığını göstermektedir. Grup 2'de kullanılan çimento türünün CEM I 42.5 R olması ve çimentonun doğası gereği erken yaşlarda basınç dayanımı kazanımı beklenen bir sonuçtur.



Görsel 4. Basınç dayanımının kür süresine bağlı (%) değişimi

Görsel 5; 7 ve 28 gün Na_2SO_4 derişimli suda kür edilen numunelerin standart kür edilen numunelere kıyasla basınç dayanımı kayıplarının grafiksel gösterimidir. Verilere göre hem Grup 1 hem de Grup 2 için; %3 oranına kadar NS kullanımı basınç dayanımı kayıplarını 7 ve 28. günde azaltmaktadır. Ancak %5 ve %7 oranında NS kullanımı belirgin şekilde basınç dayanımı kayıplarını arttırır. Grup 1 ve Grup 2 için en az basınç dayanımı kayıpları sırasıyla CEM IV- NS3 ve CEM I- NS3 serisinde elde edilmiştir. Na_2SO_4 derişimli ortamda kür edilen numuneler için basınç dayanımı kaybı; Grup 1'de 28. günde 12.85 MPa iken Grup 2 için 13.46 MPa'dır. Verilerden anlaşılacağı üzere her iki çimento türü için %3 mertebesine kadar NS kullanımı basınç dayanımı kayıplarını azaltmaktadır. Bu durum NS'nin çimento-agrega arayüzündeki nano boşlukları doldurması ve ilerleyen süreçte hidratasyona yardımcı olması ile açıklanabilir. Çünkü NS'nın optimum düzeyde kullanımı çimento-agrega arayüzünde mikro yapıyı güçlendirirken; kalsiyum silikat hidrat (C–S–H) oluşumunu destekler ve harç matrisi-

agrega ara yüzündeki geçiş bölgelerinde nano boyutlu tampon görevi üstlenir. Bu durum benzer çalışmalarda mikro analizler ile desteklenmiştir [3][24][25][26].



Görsel 5. NA_2SO_4 etkisi ile basınç dayanımı kaybı (MPa)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışma ile elde edilen bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda verildiği gibidir;

- En yüksek basınç dayanımı CEM I 42. 5 R çimento ile üretilen ve %3 NS kullanılan, standart su kürü uygulanmış serilere aittir.
- En düşük basınç dayanımı CEM IV / B (P) 32.5 R – SR ile üretilen %7 NS ikame edilen Na_2SO_4 derişimli ortamda kür edilen serilere aittir.
- Artan kür süresi ile her iki kür koşulundaki tüm serilerde basınç dayanımı zamanla artmaktadır. Ancak Na_2SO_4 derişimli çözelti, uzayan kür süresi ile tüm serilerde basınç dayanımı artışı oranını sınırlamaktadır.
- NS'nin %1 ve %3 mertebesinde kullanımı, her iki çimento türü ile üretilen seriler için basınç dayanımı üzerinde referans serilerine kıyasla pozitif etki sunmaktadır.
- %3 mertebesine kadar NS kullanımı her iki çimento türü ile üretilen serilerde Na_2SO_4 derişimli ortamın basınç dayanımı üzerinde beklenen negatif etkisini azaltmaktadır.

Bu veriler ışığında NS'nın %3 mertebesine kadar kullanımı basınç dayanımı üzerinde pozitif etki sunmaktadır ve ilerleyen çalışmalarda mikro analiz verileri ve durabilitenin tespitine yönelik çalışmaların yapılması NS'nin etkinlik düzeyini belirlemekte faydalı olacaktır.

KAYNAKÇA

[1] L. Senff, J. A. Labrincha, V. M. Ferreira, D. Hotza, and W. L. Repette, "Effect of nano-silica on rheology and fresh properties of cement pastes and mortars," *Constr Build Mater*, vol. 23, no. 7, pp. 2487–2491, Jul. 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.005.

[2] J.-Y. Shih, T.-P. Chang, and T.-C. Hsiao, "Effect of nanosilica on characterization of Portland cement composite," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 424, no. 1–2, pp. 266–274, May 2006, doi: 10.1016/j.msea.2006.03.010.

[3] J. Lee, S. Mahendra, and P. J. J. Alvarez, "Nanomaterials in the Construction Industry: A Review of Their Applications and Environmental Health and Safety Considerations," *ACS Nano*, vol. 4, no. 7, pp. 3580–3590, Jul. 2010, doi: 10.1021/nn100866w.

[4] A. Benli, M. Karataş, and E. Gurses, "Effect of sea water and MgSO4 solution on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars with fly ash/silica fume," *Constr Build Mater*, vol. 146, pp. 464–474, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.04.108.

[5] M. Shubaili and A. M. Zeyad, "Effect of volcanic pumice powder on the properties of fiber-reinforced cement mortars in aggressive environments," *REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE*, vol. 64, no. 1, Jul. 2025, doi: 10.1515/rams-2025-0123.

[6] M. Sumer, "Compressive strength and sulfate resistance properties of concretes containing Class F and Class C fly ashes," *Constr Build Mater*, vol. 34, pp. 531–536, Sep. 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.023.

[7] G.-X. Liu, W. Guo, S. Nishihara, and X.-M. Ren, "A chiral copper(II) inverse-9-metallacrown-3 complex: Synthesis, crystal structure, ferroelectric and magnetic properties," *Inorganica Chim Acta*, vol. 368, no. 1, pp. 165–169, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.ica.2010.12.067.

[8] P. K. Acharya and S. K. Patro, "Acid resistance, sulphate resistance and strength properties of concrete containing ferrochrome ash (FA) and lime," *Constr Build Mater*, vol. 120, pp. 241–250, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.099.

[9] K. M. Arslan, "Sülfat Etkisine Maruz Kalmış Mineral Ve Nano Katkılı Harçların Durabilitesi," Tez (Yüksek Lisans), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , 2015.

[10] H. Tanyildizi, "The investigation of microstructure and strength properties of lightweight mortar containing mineral admixtures exposed to sulfate attack," *Measurement*, vol. 77, pp. 143–154, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2015.09.002.

[11] S. Demirel, H. Ö. Öz, F. Çiner, and M. Güneş, "Türkiye'de Atık Malzemeden Yapılmış Kendiliğinden Yerleşen Harç Üretiminin Yaşam Döngüsü Analizi," *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Jan. 2019, doi: 10.28948/ngumuh.516780.

[12] M. Akgül, O. Doğan, and S. Etli, "Investigation of Mechanical Properties of Granulated Waste Rubber Aggregates Substituted Self-Compacting Concrete Mortar Produced with Different Cement," *Uluslararası Muhendislik Arastirma ve Gelistirme Dergisi*, vol. 12, no. 2, pp. 787–798, Jun. 2020, doi: 10.29137/umagd.734614.

[13] S. Etli, "Mechanical Properties of Self-Compacting Mortars Containing Rubber Waste Particles as Fine Aggregate in Freeze–Thaw Cycles," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 36, no. 9, Sep. 2024, doi: 10.1061/JMCEE7.MTENG-17647.

[14] B. Felekoğlu, "A comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete," *Constr Build Mater*, vol. 22, no. 4, pp. 646–654, Apr. 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2006.10.007.

[15] B. Persson, "A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete," *Cem Concr Res*, vol. 31, no. 2, pp. 193–198, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0008-8846(00)00497-X.

[16] B. Benabed, E.-H. Kadri, L. Azzouz, and S. Kenai, "Properties of self-compacting mortar made with various types of sand," *Cem Concr Compos*, vol. 34, no. 10, pp. 1167–1173, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2012.07.007.

[17] M. El Marzak, H. Karim Serroukh, M. Benaicha, O. Jalbaud, A. Hafidi Alaoui, and Y. Burtschell, "Rheological and mechanical analysis of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, p. e04564, Jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04564.

[18] M. Akgül, "Effect of curing conditions on cement based self-compacting mortar produced with mortar waste aggregate," *Heliyon*, vol. 10, no. 16, p. e36423, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e36423.

[19] M. Akgül, "Wood Ash Effect on Cement Based Self-Compacting Mortars," *Civil Engineering Beyond Limits*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, Apr. 2024, doi: 10.36937/cebel.2024.1945.

[20] TS EN 1008, "Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları.," 2003, *Ankara*.

[21] The European Project Group., " The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use, EFNARC," 2005.

[22] TS EN 934-2A-1, "Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme. ," 2014, *Ankara*.

[23] ASTM C109/C109M, " Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, 32(10), 2141-2147. https://doi.org/10.1520/C0109," 2007.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KİREÇ KATKISIZ ÖRGÜ HARÇLARINDA PERLİT VE PONZA TOZUNUN BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ

THE EFFECT OF PERLİTE AND PUMİCE DUST ON THE COMPRESSİVE STRENGTH OF LİME-FREE MASONRY MORTARS

Doç. Dr. Melek AKGÜL

Munzur Üniversitesi,

melekakgul@munzur.edu.tr - 0000-0001-8815-3762

ÖZET

Çimento kullanımına bağlı sürdürülebilir, çevre yükünü azaltıcı, sektörden kaynaklanan atık ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesinin hedeflendiği bu çalışmada; çimentoya perlit ve ponza tozu ikame edilerek örgü harcı üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, CEM-I 42,5R çimento kullanılmıştır. %5-%20 bandında artan %5'lik oranlar ile çimentoya perlit ve ponza tozu ikame edilmiştir. Bir tanesi referans olmak üzere 4 tanesi perlit tozu, 4 tanesi ponza tozu ikameli olarak 9 seri örgü harcı üretilmiştir. Örgü harçlarının tasarımında bağlayıcı/su/agrega oranı ağırlıkça 1/0.8/4 olarak alınmıştır. 28 gün su kürü sonrası numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre ponza ve perlit tozunun kullanıldığı örgü harçlarının basınç dayanımı kayıpları tespit edilse de; referans serisine en yakın basınç dayanımını perlit tozu için %5, ponza tozu için %10 mertebesine kadar ikame durumlarına aittir. Çalışma sonucunda elde edilen optimum düzeyde perlit ve ponza tozunun örgü harçlarında çimentoya ikame edilmesi sürdürülebilirlik ve çevre yükünü azaltıcı etki sunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Örgü harcı, Basınç dayanımı, Perlit tozu, Ponza tozu.

ABSTRACT

In this study, which aims to reduce the environmental burden associated with cement use and decrease waste and greenhouse gas emissions from the industry, mortar was produced by substituting perlite and pumice dust for cement. CEM-I 42.5R cement was used in the study. Perlite and pumice dust were substituted for cement at increasing rates of 5% within the 5-20% range. 9 series of masonry mortars were produced: one reference mortar, 4 with perlite powder replacement, and 4 with pumice powder replacement. In the design of the masonry mortars, the

binder/water/aggregate ratio was taken as 1/0.8/4 by weight. Compressive strength tests were performed on the specimens after 28 days of water curing. According to the results of the study, although compressive strength losses were detected in the mortar mixtures using pumice and perlite powder, the compressive strength closest to the reference series corresponds to replacement levels of up to 5% for perlite powder and 10% for pumice powder. The study results indicate that replacing cement in mortar mixtures with perlite and pumice powder at optimal levels will provide sustainability and reduce environmental impact.

Keywords: Mortar, Compressive strength. Perlite powder, Pumice powder.

---

1. GİRİŞ

Harç, yüzyıllardır kullanılmaktadır ve çok sayıda yapı türünün vazgeçilmez bir bileşenidir. En yaygın kullanım alanları, tuğla ve taş duvarcılığı başta olmak üzere örgü ve sıva harcı şeklindedir. Harç üç ana bileşenden oluşur. Bunlar, dolgu malzemesi olarak agrega veya diğer granüler inert malzemeler; bağlayıcı malzeme ve sudur [1].

Puzolanlar en yaygın şekli ile, doğal ve yapay puzolanlar olarak sınıflandırılır. Puzolanlar, CH'nin Kalsiyum Silikat Hidrat (C-S-H)'a dönüşmesi sürecinde etkilidir. C-S-H, beton ve harç için kritiktir çünkü matrisin yoğunlaşması ve özellikle mekanik performansın güçlenmesinde daha fazla C-S-H elde edilmesi önemlidir [2].

Çimentonun üretimi her yıl yaklaşık %9 oranında artmaktadır ve bu durum çimento üretiminin karşı karşıya olduğu çevre sorunlarının da artması anlamına gelmektedir [3] . Endüstriyel kaynaklı kirlilik sıralamasında inşaat sektörü ilk 3'te yer alır ve sektörün en önemli kirlilik kaynağı, sürdürülebilir ve çevreci kabul edilmeyen çimento üretim sürecidir [4]. Bu sebeple çimentoya alternatif ikame ürün arayışı sektörel ve akademik çalışmalarda çözüm aranan önemi bir sorunsaldır. Bu nedenle, çimento içeriğini en aza indirmek, iyi beton özellikleri elde etmek, maliyeti düşürmek ve çimento üretiminden kaynaklanan çevresel kirliliği azaltmak için genellikle SiO_2, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içeriği zengin malzemelerin kullanılması önerilmektedir [5]. Harç elemanların taze özelliklerinin yanı sıra dayanım ve dayanıklılığını artırmak için çeşitli ürünler çimentoya alternatif kabul edilir. Bunlar arasında uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, ponza, cam, metakaolin ve nano-silika gibi farklı katkı maddeleri yer almaktadır. [6] [7], [8], [9] [10][11] [12][13]. [14]. Bu ürünlerin sanayi yan ürünü ya da atığı veya geridönüşüm

süreçlerinin çıktısı olması; sürdürülebilir ve çevreci yaklaşımlar tarafından ekolojik ve katma değeri yüksek kabul edilmektedir.

Ponza, magmatik kökenli bir alüminyum silikattır ve volkanik aktivite süreciyle oluşan hücresel bir yapıya sahiptir. Hücresel yapısı ve hafifliği; yalıtım özelliklerinin ana kaynağıdır ve bu amaçla inşaat malzemesi olarak kullanılmaktadır [12]. Bunun yanı sıra öğütülmüş ponza tozu çimentoya kısmi olarak ikame edilerek de kullanılmaktadır [15][16] [17]. PM'nin çimentoya %10 oranında ikame edilmesi kabul edilebilir sonuçlar içermektedir [15]. Ayrıca kür süresi ve kür şartları da PM'nin bazı belirleyici özellikleri üzerinde etkilidir [16]. %15-%25 ikame seviyelerinde PM, sülfata maruziyet ortamında kullanım için uygun kabul edilmektedir [2].

Volkanik bir kayaç olan Perlit, yoğun ve camsı bir yapıdadır; yaklaşık 900 -1100 °C ısıl işlem sonrası hacmi 7 ila 25 katına kadar genişler [18]. Artan PR içeriğiyle sülfat ve asit saldırılarına karşı direnci artmaktadır [19]. PR kullanımı, çimentolu kompozitlerde Alkali silika reaksiyonuna karşı pozitif etki sunmaktadır [20]. Agresif ortam etkisindeki %20 PR içeren numunelerin basınç dayanımına nazaran %10 PR içeren numunelerin basınç dayanımı daha kararlıdır [20]. Deneysel sonuçlar, %20'ye kadar PR içeren harçlarının, PR içermeyen harçlara kıyasla kabul edilebilir fiziksel ve mekanik özellikler gösterdiğini ortaya koymaktadır [19].

Çimento kullanımına bağlı sürdürülebilir, çevre yükünü azaltıcı, sektörden kaynaklanan atık ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesinin hedeflendiği bu çalışmada; çimentoya perlit ve ponza tozu ikame edilerek örgü harcı üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu hali ile çalışma hem iki değişim ürününü kıyaslamakta ve hem de basınç dayanımı bağlamında optimum fayda düzeyini sunmaktadır.

2. MATERIAL AND METHOD

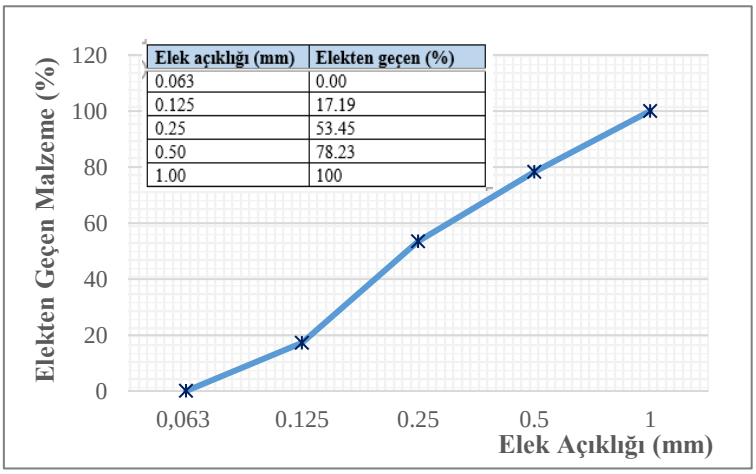
Harç numunelerin üretimi için TS EN 197-1'e uygun CEM-I 42,5R çimento (PÇ) [21] ve PÇ'ye ikame edilen perlit (PR) ve ponza (PM) tozu kullanılmıştır. PÇ'nin kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. PÇ'ye PR ve PM'nin kısmi ikamesi ile üretilen 9 seri örgü harcı tasarımında dolgu malzemesi olarak ince agrega kullanılmıştır. Toplamda 27 adet 50x50x50 mm'lik kübik harç numunesi üretilmiştir. Çalışma kapsamında şehir şebeke suyu kullanılmıştır ve karışım suyu TS EN 1008'de belirtilen şartlara uygundur [22].

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 1. PÇ'nin özellikleri

Kimyasal birleşim (%)	CEM I 42,5 R
CaO	61.04
SiO_2	19.65
Al_2O_3	5.04
Fe_2O_3	3.46
MgO	1.84
SO_3	3.85
K_2O	0.71
Na_2O	0.56
SCaO	3.56
C_3A	7.53

Çalışmada kullanılan ince agrega sıva uygulamalarında kullanıma uygundur ve Tunceli ilindeki taş ocaklarından temin edilmiştir. Ön eleme işleme yapılarak, 1 mm'lik kare gözlü elek ile elenip granülometri eğrisi çıkarıldıktan sonra elek altı malzeme harç numunelerin üretiminde kullanılmıştır. Elek analizi ve granülometri eğrisi Görsel 1'de verilmiştir [23]



Görsel 1. Elek analizi ve granülometri eğrisi

PM ve PR, PÇ'ye %5,10,15 ve 20 oranında ikame edilmiştir. 4 seri PM ikamesi, 4 seri PR ikamesi ve bir tanesi de referans seri olmak üzere 9 seri örgü harcı tasarlanmıştır. Örgü harçlarının tasarımında bağlayıcı/su/agrega oranı ağırlıkça 1/0.8/4 olarak alınmıştır. Harç numunelerin üretiminde herhangi bir katkı maddesi kullanılmamıştır. Harç serileri, içeriğindeki PÇ, PM ve PR miktarına göre kodlanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Harç Serileri Kodlaması ve Karışım Tasarımı (kg)

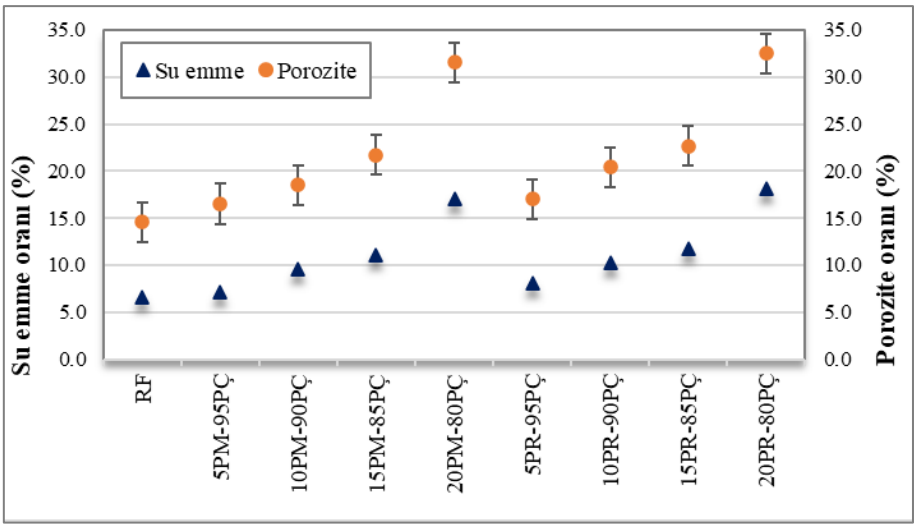
	PÇ	PM	PR	Agrega	Su
RF	100	0	0	400	80
5PM-95PÇ	95	5	0	400	80

10PM-90PÇ	90	10	0	400	80
15PM-85PÇ	85	15	0	400	80
20PM-80PÇ	80	20	0	400	80
5PR-95PÇ	95	0	5	400	80
10PR-90PÇ	90	0	10	400	80
15PR-85PÇ	85	0	15	400	80
20PR-80PÇ	80	0	20	400	80

Karışımlarının üretiminde 3 dm^3 kapasiteli laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Metal kalıplara yerleştiren harç numuneleri kalıp alma süresi sonunda kalıplardan çıkarılıp, kodlanarak 20 ± 2 °C sıcaklıkta kirece doygun standart su küründe 28 gün bekletilmiştir. 28 günlük su kürü sonrası tüm numunelerin etüv kurusu birim hacim ağırlık, porozite (%) ve ağırlıkça su emme oranı belirlendikten sonra basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyinde 250 kN kapasiteli üniversal test pres makinesi kullanılmış, 1 kN/s basınç yükü uygulanmıştır [24].

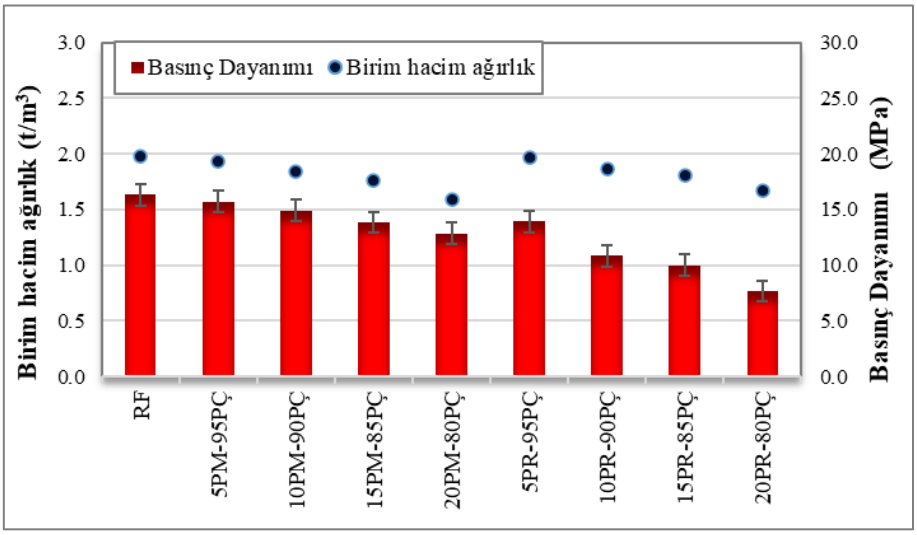
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

PZ ve PR'nin çimentoya kısmi ikamesi ile üretilen örgü harçlarının 28 gün kirece doygun su kürü sonrası birim hacim ağırlık, porozite (%), ağırlıkça su emme ve basınç dayanımı deneyi sonuçları Görsel 2 ve 3'te verildiği gibidir. Buna göre en düşük su emme ve porozite oranı referans serisine aittir. Artan PZ ve PM oranı hem porozite hem de su emme oranı üzerinde artışa sebep olmaktadır. En fazla porozite oranı %32.5 ile 20PR-80PÇ serisine aittir. Buna en yakın değer 20PM-80PÇ serisinde hesaplanmıştır. Benzer durum su emme oranı için aynı serilerde kaydedilmiştir. Su emme oranı RF serisinde 6.6 iken 20PM-80PÇ ve 20PR-80PÇ serilerinde referans serisine göre sırasıyla %158 ve %173 artış belirlenmiştir. Artan PM ve PR ile porozite ve su emme oranı artmaktadır.



Görsel 2. Su emme ve porozite sonuçları

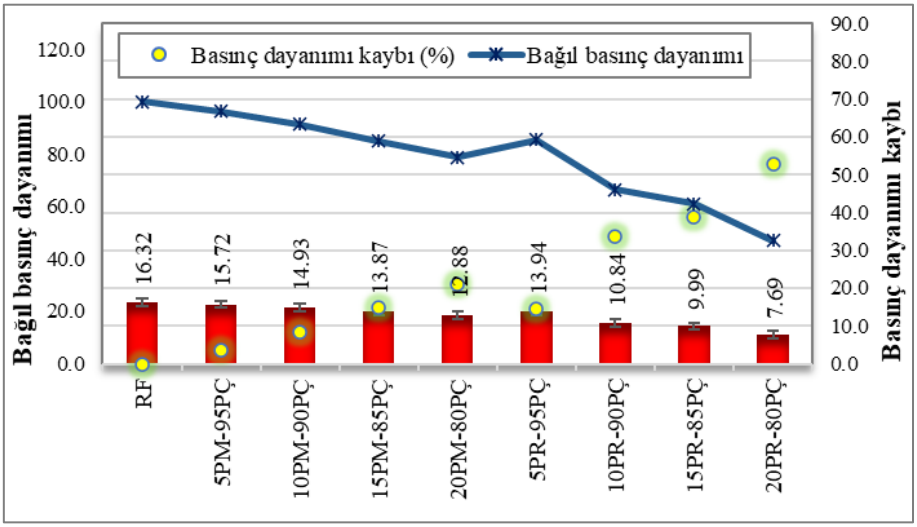
PM ve PR oranındaki artış 28 gün kirece doygun su kürü uygulanan numuneler üzerinde basınç dayanımını azaltıcı etkiye sahiptir. En yüksek basınç dayanımı referans serisinde 16.3 MPa olarak belirlenmiştir. En düşük basınç dayanımı ise %20 oranından perlit tozu ikameli 20PR-80PÇ serisinde 7.7 MPa olarak hesaplanmıştır. Perlit tozunun basınç dayanımı üzerindeki negatif etkisi ponza tozuna nazaran daha belirgin ve fazladır. Ponza ikameli serilerde en düşük basınç dayanımı 12.9 MPa iken perlit tozu katkılı serilerde 7.7 MPa'dır. Referans serisine en yakın basınç dayanımı değeri 15.7 MPa ile 5PM-95PÇ serisinde kaydedilmiştir.



Görsel 3. Basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık sonuçları

PM ve PR ikameli serilerin basınç dayanımının referans serisine (RF) oranlanması ile elde edilen bağıl basınç dayanımı sonuçları Görsel 4'te verilmiştir. Buna göre artan PM ve PR oranı bağıl basınç dayanımını düşürmektedir. RF serisinde basınç dayanımı 16.32 MPa'dır. Bağıl

basınç dayanımı PM ikameli serilerde PM oranı arttıkça azalmaktadır ve en düşük değeri yaklaşık % 78.9'dur. Bu durum PR ikameli serilerde %47.1 ile 20PR-80PÇ serisinde kaydedilmiştir. PM ikameli serilerin tamamı ve %5 PR ikameli serinin bağıl basınç dayanımı %70'in üzerinde hesaplanmıştır.



Görsel 4. Basınç dayanımı, bağıl basınç dayanımı ve dayanım kaybı sonuçları

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

PM ve PR'nin çimentoya %5-%20 bandında artan %5'lik oranlar ile ikame edilmesi esasıyla üretilen 9 seri örgü harcına dair deneysel verilerin sonuçları ve öneriler aşağıda verildiği gibidir;

- Artan PZ ve PM oranı hem porozite hem de su emme oranı üzerinde artışa sebep olmaktadır.
- PM ve PR oranının arttırmak örgü harçlarında basınç dayanımını azaltmaktadır.
- PM ikameli serilerin tamamı ve %5 PR ikameli serinin bağıl basınç dayanımı %70'in üzerinde hesaplanmıştır.
- PM ve PR'nin kullanıldığı örgü harçlarının basınç dayanımı kayıpları tespit edilse de; referans serisine en yakın basınç dayanımını PR için %5, PM için %10 mertebesine kadar ikame durumlarına aittir.

PM ve PR'nin farklı ikame bantları ve farklı oranlarda, ikili ikame durumları ile incelenmesi, yüksek sıcaklık sonrası mekanik ve durabilite özelliklerinin yanı sıra ilerleyen yaşlarda mikro yapının değerlendirilmesi sonraki çalışmalar için önerilmektedir. Bu hali ile PM ve PR'nin kullanılabilirliği konusunda katma değeri yüksek veriler sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

[1] H. Bağdatlıoğlu İş Merkezi *vd.*, "İletişim Genel Müdürlük Büyükçekmece Fabrikası Çanakkale Fabrikası Ladik Fabrikası Kuzey Marmara Bölgesi Güney Marmara Bölgesi Ege Bölgesi Doğu Marmara Bölgesi".

[2] www.hesspozz.com, "Pumıce Improves Concrete Performance ":, https://usgrout.com/PDFs/Combo-ResearchSummary-HessPozz.pdf.

[3] B. Erkek, H. Yazıcı, ve B. Tutkun, "Öğütülmüş Perlit Tozunun Alternatif Puzolan Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması", *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 26, sy 78, ss. 364-372, Eyl. 2024, doi: 10.21205/deufmd.2024267802.

[4] E. Benhelal, G. Zahedi, E. Shamsaei, ve A. Bahadori, "Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry", *J Clean Prod*, c. 51, ss. 142-161, Tem. 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.10.049.

[5] M. Raghav, T. Park, H.-M. Yang, S.-Y. Lee, S. Karthick, ve H.-S. Lee, "Review of the Effects of Supplementary Cementitious Materials and Chemical Additives on the Physical, Mechanical and Durability Properties of Hydraulic Concrete", *Materials*, c. 14, sy 23, s. 7270, Kas. 2021, doi: 10.3390/ma14237270.

[6] G. Pachideh, M. Gholhaki, ve H. Ketabdari, "Effect of pozzolanic wastes on mechanical properties, durability and microstructure of the cementitious mortars", *Journal of Building Engineering*, c. 29, s. 101178, May. 2020, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101178.

[7] M. Akgül ve O. Hansu, "Harç Atığı İkameli Mikro Betonlarda Sertleşmiş Hal Ve Mikroyapı Değerlendirilmesi ", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 27, sy 3, ss. 1089-1101, Eyl. 2024, doi: 10.17780/ksujes.1482487.

[8] M. Akgül, "Polipropilen Lifli Mikro Betonlarda Nano Silika Kullanımının Etkisi", *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 28, sy 2, ss. 721-731, Haz. 2025, doi: 10.17780/ksujes.1607363.

[9] M. Akgül, "Wood Ash Effect on Cement Based Self-Compacting Mortars", *Civil Engineering Beyond Limits*, c. 5, sy 2, ss. 1-8, Nis. 2024, doi: 10.36937/cebel.2024.1945.

[10] Y. Ogawa, K. Uji, A. Ueno, ve K. Kawai, "Contribution of fly ash to the strength development of mortars cured at different temperatures", *Constr Build Mater*, c. 276, s. 122191, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.122191.

[11] M. Gruszczyński ve M. Lenart, "Durability of mortars modified with the addition of amorphous aluminum silicate and silica fume", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, c. 107, s. 102526, Haz. 2020, doi: 10.1016/j.tafmec.2020.102526.

[12] S. Aydın, "Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice", *Fire Saf J*, c. 43, sy 8, ss. 610-617, Kas. 2008, doi: 10.1016/j.firesaf.2008.02.001.

[13] M. S. Morsy, Y. A. Al-Salloum, H. Abbas, ve S. H. Alsayed, "Behavior of blended cement mortars containing nano-metakaolin at elevated temperatures", *Constr Build Mater*, c. 35, ss. 900-905, Eki. 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.099.

[14] Yildirim G., Dundar B., Aleessa Alam B., Yaman İ. Ö., ve Şahmaran M., "Role of Nanosilica on the Early-Age Performance of Natural Pozzolan-Based Blended Cement", *ACI Mater J*, c. 115, sy 6, Kas. 2018, doi: 10.14359/51706848.

[15] A. M. Zeyad, B. A. Tayeh, ve M. O. Yusuf, "Strength and transport characteristics of volcanic pumice powder based high strength concrete", *Constr Build Mater*, c. 216, ss. 314-324, Ağu. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.026.

[16] M. Tanyıldızı, "Pozzolanic activity of pumice under different curing temperatures and durations", *Journal of Science and Technology*, ss. 64-70, 2022.

[17] S. Mousavinezhad, J. M. Garcia, W. K. Toledo, ve C. M. Newtson, "Inclusion of Natural Pozzolan (Pumicite) in Concrete as a Supplementary Cementitious Material", içinde *New Mexico Transportation and Construction Conference (NM TransCon)*, 2022.

[18] R. Chihaoui, H. Khelafi, Y. Senhadji, ve M. Mouli, "Potential use of natural perlite powder as a pozzolanic mineral admixture in Portland cement", *J Adhes Sci Technol*, c. 30, sy 17, ss. 1930-1944, Eyl. 2016, doi: 10.1080/01694243.2016.1171568.

[19] R. Chihaoui, H. Siad, Y. Senhadji, M. Mouli, A. M. Nefoussi, ve M. Lachemi, "Efficiency of natural pozzolan and natural perlite in controlling the alkali-silica reaction of cementitious materials", *Case Studies in Construction Materials*, c. 17, s. e01246, Ara. 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e01246.

[20] TS EN 197, "Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.", 2012, *Ankara*.

[21] TS EN 197-1, " Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. ", 2011, *Ankara.*

[22] TS EN 1008, "Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları.", 2003, *Ankara*.

[23] TS EN 933-1, "Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi.", 2012, *Ankara*.

[24] ASTM C109/C109M, " Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, 32(10), 2141-2147. https://doi.org/10.1520/C0109", 2007.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

UNDERSTANDING THE SOCIAL DIMENSION TO ECOLOGICAL DEGRADATION – A CASE STUDY OF DELHI-NCR

Prof Mamta Sharma

KM College, University of Delhi, India

mamta610@gmail.com ; mamta610@kmc.du.ac.in

ORCID number 0009-0009-5804-7673

Prof Sandeep K Sharma

Rajdhani College, University of Delhi, India

sandeep259@gmail.com

ORCID number 0009-0005-0636-9102

ABSTRACT

Ecological degradation in Delhi-NCR exemplifies a profound social-environmental nexus, where air pollution, water scarcity, and green cover loss disproportionately burden marginalized communities, perpetuating cycles of poverty and vulnerability. This case study investigates how rapid urbanization—Delhi's population exceeding 30 million—intensifies degradation through industrial emissions, vehicular exhaust, and stubble burning, contributing 50-70% of winter PM2.5 spikes, while social inequities amplify impacts on low-income groups in informal settlements.

Poverty drives overexploitation of resources, as slum dwellers near pollution hotspots engage in waste picking and outdoor labor, facing 20-25% higher respiratory cases during peaks like post-Diwali surges. Health burdens include asthma, fatigue, and reduced life expectancy by up to 11.9 years from PM2.5 exposure, with annual economic losses hitting Rs 10,000 crore in healthcare and productivity. Caste-class disparities manifest in limited green spaces, indoor solid fuel pollution, and unequal policy enforcement, underscoring environmental injustice where the poor suffer most despite minimal contributions.

Employing mixed-methods—secondary data on AQI trends, poverty indices, and qualitative policy reviews—this analysis reveals bidirectional causality demanding integrated interventions. Recommendations advocate equitable green infrastructure, CNG/electric transport expansion (targeting 12% fleet), inclusive healthcare, and community resilience under NEP 2020 frameworks to foster adaptive urban governance and break the degradation-poverty trap.

Keywords: Ecological degradation; AQI; air pollution; water scarcity; poverty

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GELİŞMİŞ CEPHELERDE HAVALANDIRMA PERFORMANSI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: KAPSAMLI LİTERATÜR TARAMASI

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Serhan ÜNLÜTÜRK
Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık Fakültesi,
serhan.unluturk@balikesir.edu.tr - 0000-0001-8368-4169

Mehmet TOSUN
Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık Fakültesi
0009-0006-5238-7077

Ahmet Selim ALBAYRAK
Balıkesir Üniversitesi/Mimarlık Fakültesi
0009-0005-7226-6590

ÖZET

İnsanlar zamanlarının büyük çoğunluğunu kapalı alanlarda geçirmektedir. Bu sebeple iç mekadaki havanın kalitesinin iyi olması kullanıcı sağlığı açısından önemlidir. Tasarımcılar iç mekan hava kalitesinin arttırılması açısından binalar için cephe sistemleri geliştirmişlerdir. Son dönemlerde hayatımıza giren ve bina cephesinin önüne bir katmanın eklenmesiyle elde edilen Çift Cidarlı Cepheler (ÇCC) de iç mekan havalandırma performansını arttırmayı hedeflemektedir. Sürdürülebilir mimarlık kapsamında gelişmiş cephelerin öncüsü olan bu cephe sisteminin kendine özgü tasarım parametreleri vardır. Tasarımcının bu parametreleri doğru planlamaması iç mekan termal ve havalandırma performansını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca tasarım sürecinde bu cephe sisteminin parametrelerinin iklimsel uygunluk ile birlikte düşünülmesi gerekliliği ÇCC sisteminin tasarımındaki zorluktur. Çalışma bu kapsamda literatürde ÇCC'lerin havalandırma performansını etkileyen tasarım parametrelerinin iklimsel uygunluk bağlamında değerlendirmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın amacı kapsamında Google Scholar, Elsevier ve Scopus veri tabanlarından "çift cidarlı cepheler", "havalandırma performansı" ve "ısıl performans" anahtar kelimeleriyle sistematik literatür taraması gerçekleştirmiştir. Literatür taraması sürecinde i)farklı cephe sistemlerini ele alan, ii) gün ışığı üzerine olan çalışmalar kapsam dışı bırakılmıştır. Literatürde ÇCC tasarım parametrelerinden iç mekan havalandırma performansı üzerinde etkisi olan kavite derinliği, açıklıkların boyut ve konumu ve oda hacminin iklimsel uygunluk ile birlikte değerlendirilmiştir. Literatürdeki

çalışmalar, ÇCC sisteminin bu tasarım parametrelerinin doğru planlanmasının hem enerji tasarrufu sağladığını hem de kullanıcı konforunu artırdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gelişmiş cepheler, çift cidarlı cepheler, bina kabuğu, havalandırma performansı, ısıl performans.

1. GİRİŞ

Avrupa Birliği Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri (AB SKH) insanların hak ettikleri şekilde yaşamlarını sürdürebilmelerini ve çevresel sürdürülebilirlik için enerji tüketiminin verimli olması gerektiğini vurgulamaktadır [unsdg]. İnsanların özellikle kapalı alanlarda konfor koşullarını sağlamak ve sağlığını korumak ve iç mekan konfor koşullarını en az enerji ile sağlamak adına tasarımcılar farklı önlemler almıştır. Tasarımcılar iç mekan konfor koşullarını arttırmak ve binaların enerji performansını arttırmak amacıyla bina iç-dış ortamı arasında kalan ve bir sınır görevi gören bina kabuğu elemanı olan cepheleri geliştirmişlerdir. Gelişmiş cepheler dinamik, uyarlanabilir ve entegre sistemler bütününü oluşturmaktadır. Bu sistemler teknolojik olup farklı kullanım ve iklim senaryolarına uyum sağlayabilmektedir [2]. Tasarımcılar, gelişmiş cepheler ile geleneksel cephelerden farklı olarak ısı, gün ışığı, rüzgar ve ses gibi çevresel etkileri aktif veya pasif stratejilerle kontrol altına alabilmiştir. Bu sayede iç mekanda kullanıcı konforu arttırılırken bina enerji tüketimi azaltılmaktadır [3].

Binaların iç mekanının doğal yada mekanik bir şekilde havalandırılması kullanıcı konforu ve sağlığı açısından önem arz etmektedir. İç mekan hava kalitesinin düşük olması, zararlı partiküllerin bulunması ve dış ortamdan içeriye zararlı gazların geçişi kullanıcı sağlığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca doğru havalandırma stratejisinin geliştirilmemesi özellikle yoğun kullanıma sahip binalarda çapraz bulaş riskini arttırmaktadır. İnsanların zamanlarının büyük bölümünü geçirdiği iç mekanlarda hava kalitesinin optimum düzeyde olması bina tasarım sürecinde üstesinden gelinmesi gereken bir problemdir. Tasarımcılar iç mekanda havalandırma performansını arttırmak ve ısıl konforu dengelemek adına Çift Cidarlı Cephe (ÇCC) gelişmiş cephe sistemini tasarlamıştır [4].

ÇCC sistemi bina kabuğunun önüne ayrı bir cephe katmanının entegre edilmesiyle oluşmaktadır. Belçika Bina Araştırma Enstitüsü ÇCC'yi birden fazla cam kaplama ile inşa edilmiş bir veya birkaç katı kaplayan cephe olarak tanımlamaktadır [5]. Ayrıca bu sistemde iki cephe katmanı arasındaki hava boşluğu aşırı sıcaklara, rüzgara ve sese karşı bir yalıtım sağlamaktadır [6]. Bu sistem günümüzde tasarımcıya sunduğu şeffaflık sayesinde estetik beklentileri de karşılamaktadır [7]. Tablo 1'de ÇCC sisteminin uygulandığı yapı örneklerini göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Tablo1. ÇCC sistemine sahip örnek yapılar.

Bina İsmi	Görseli	Yapım Yılı	Lokasyon
Düsseldorf city gate		2002	Düsseldorf, Almanya
Headquarters of Commerzbank		2002	Frankfurt, Almanya
Sanomatalo		2001	Helsinki, Finlandiya
Itämerentori		2001	Helsinki, Finlandiya
Kista Science Tower		2003	Kista, İsveç

Bu çalışma ÇCC'in iç mekan havalandırma performansına etkisini inceleyen çalışmaları bütüncül olarak ele almıştır. Kapsamlı bir literatür taraması ile ÇCC sisteminin özellikleri ve iç mekan havalandırma performansına etkileri incelenecektir. ÇCC sistemlerinin iç mekan havalandırmasını etkin bir şekilde gerçekleştirebilmesi için gerekli özellikler irdelenecek ve sistemin avantaj/dezavantajları ortaya konulacaktır. Çalışma, literatürde bu konuların yıllara göre ele alınışı ve tasarım parametrelerini değerlendirecektir.

2. YÖNTEM

Çalışmada gelişmiş cepheler, çift cidarlı cepheler ve havalandırma performansı olmak üzere üç ana kavram üzerinde sistematik bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Literatür taraması için arama yapmayı sağlayan veri tabanları ScienceDirect, Scopus, ResearchGate ve Google Scholar olmuştur. Literatür taraması sürecinde önceki çalışmaların sınırları, yöntemler ve araçlar değerlendirilmiştir. Ancak literatür taramasını elde ettiği tüm çalışmaları değerlendirmemiş olup ele alınan konulara sınırlılıklar getirmiştir. Gerçekleştirilen literatür taraması: i) gelişmiş cepheler, ii) çift cidarlı cepheler, iii) havalandırma performansı ve iv) çift cidarlı cephelerde havalandırma performansı kavramlarını içeren çalışmaları ele almıştır. Çalışma, elde ettiği literatürü analitik olarak analiz etmiş ve anahtar kelimelerle uyuşan aday makaleler ayırt edilmiştir. i) kapsam dışı makaleler, ii) farklı gelişmiş cephe sistemlerini ele alan makaleler, iii) diğer iç mekan parametreleri üzerine çalışmalar ve iv) çift cidarlı cephelerin tasarımına yönelik makaleler kapsam dışı bırakılmıştır. İncelenen çalışmalar yöntemlerine göre analiz edilmiş olup i) literatür taraması, ii) ölçüm, iii) simülasyon, iv) optimizasyon olmak üzere sınıflandırılmıştır. Ayrıca çalışma, makalelerin yöntemi gerçekleştirirken kullandığı araçları da değerlendirmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Çift Cidarlı Cepheler

ÇCC sistemleri bünyesinde iç ve dış ortam arasında mikro iklim koşullarının istenmeyen etkilerine karşı yalıtkanlık sağlayan kavite boşluğu bulunmaktadır. Kavite boşluğu ısıl konforu dengelediği gibi rüzgar ve sese karşı da etkilidir. Kavite boşluğu 0.2m ile 2 m. arasında genişliğe sahiptir [8]. Kavite boşluğu yeterince havalandırılmadığı takdirde özellikle yaz aylarında boşlukta aşırı ısınma problemi meydana gelebilir. Kavite boşluğu doğal veya mekanik havalandırma ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca boşluktaki hava akış yönü enerji performansının arttırılması için değiştirilebilir [9].

ÇCC'ler ısı kazanımını azaltan "havalandırmalı" veya ısı yalıtımını sağlayan "hava geçirmez olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Isıtma dönemlerinde kavite boşluğundaki "hava geçirmez" bir şekilde tasarlanıp tampon bölge oluşturabilir. Soğutma dönemlerinde ise tasarım sürecinde geliştirilecek pasif sistemlerle havalandırma performansı arttırılabilir [10]. [9]'a göre ÇCC sistemleri tasarım stratejisine göre 5 grupta incelenebilir. Bunlar;

- Kutu pencere sistemi,
- Şaft-kutu pencere sistemi,
- Koridor sistemi,
- Çok katlı sistem ve
- Çok katlı panjurlu ÇCC sistemleridir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Ayrıca ÇCC sistemlerinde iç ve dış cidara entegre edilecek menfezler ile sistem havalandırması geliştirilebilir. Bu sistemin temizliği, onarımı gibi işlemlerin yapılabilmesi için kat hizalarında havalandırmaya engel olmayan yürüyüş yolları entegre olabilir [9].

3.2. Çift Cidarlı Cephelerde Havalandırma Performansı

ÇCC sistemleri iç mekan ısıl ve havalandırma performansını arttırmak adına tasarlanmıştır. Çizelge 1, literatürde ÇCC'lerin havalandırma performansını ele alan çalışmaları amacı, yöntemi, kullanılan araç ve ele alınan ÇCC sistem parametrelerini değerlendirmektedir.

Çizelge 1. Literatürde çift cidarlı cephelerin havalandırma performansına yönelik çalışmalar.

Çalışma, Yılı	Amacı	Yöntem	Araç	Parametre
[11], 2002	ÇCC'lerin ısıl ve havalandırma davranışını incelemek.	Model	Matematiksel model	Cephe geometrisi Cam özellikleri Isı transfer mekanizmaları
[12], 2004	ÇCC sistemi entegre edilmiş 3 farklı yapıda performans analizi gerçekleştirmek.	Ölçüm	Veri kaydedici	Bina yüksekliği Kavite genişliği ÇCC sistemi
[13], 2005	ÇCC sistemine sahip binalar için matematiksel model geliştirerek havalandırma performansını arttırmak.	Model	Matematiksel model (CFD)	Kavite genişliği Jaluzi konumu Jaluzi geometrisi Jaluzi lamel açısı
[14], 2005	ÇCC sistemine sahip bir yapının doğal havalandırma performansını araştırmak.	Model	Matematiksel model (CFD)	Güneş bacası konumu, yüksekliği Baca kesit alanı Kavite genişliği
[15], 2008	Yüksek katlı ofislerde enerji tüketimini azaltmak.	Model	Matematiksel model (CFD)	Cephe yönlenmesi Kavite genişliği Kavite sürekliliği ÇCC tipi
[16], 2010	ÇCC sisteminin binanın ısıl performansına etkisini araştırmak.	Simülasyon	Fluent	ÇCC tipi Havalandırma tipi Kavite genişliği
[17], 2012	ÇCC sistemine sahip bir yapının havalandırma performansına etki eden parametrelerin etki sırasını belirlemek.	Simülasyon	EnergyPlus	Kavite genişliği Cam yüzeylerin konumu Cephe açıklıklarının konumu
[18], 2013	Havalandırmalı ve havalandırmasız ÇCC sistemine sahip binaların ısıl performansını karşılaştırmak.	Ölçüm	Veri kaydedici	Kavite genişliği ÇCC tipi Havalandırma tipi
[9], 2014	ÇCC sistemleri hakkında kapsamlı bir araştırma sunmak.	Literatür taraması	-	-
[19], 2015	Doğal havalandırma sistemine sahip ÇCC'lerde hava ak	Ölçüm	İzleyici gaz testi	Kavite genişliği Kat yüksekliği Cam yüzeylerin konumu

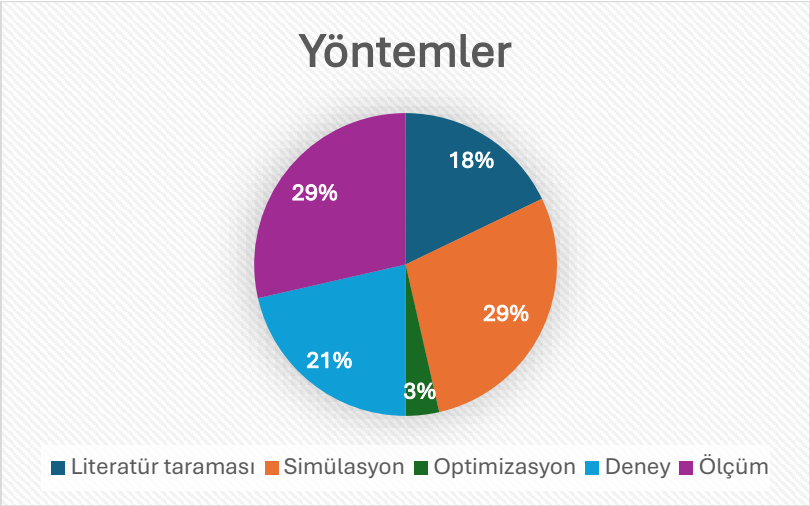
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	Doğal havalandırılan çift cidarlı cepheye sahip yapıda hava akışlarını ölçmek.			
[20], 2015	ÇCC sistemlerinin havalandırması için gerekli enerji ihtiyacını araştırmak.	Literatür taraması	-	-
[21], 2016	ÇCC sistemlerinin ısıl, görsel ve havalandırma performanslarını irdelemek.	Literatür taraması	-	-
[22], 2020	ÇCC sistemlerinin ısıl, görsel ve havalandırma performanslarını irdelemek.	Simülasyon	DIVA DesignBuilder	Kavite genişliği Perforasyon oranı Cephe yönlenmesi
[23], 2021	Doğal havalandırmalı ÇCC sisteminin davranışlarını incelemek.	Simülasyon	CFD	Pencere/duvar oranı Düşey açıklık oranı Kavite genişliği ÇCC yüksekliği
[24], 2022	Eğitim yapılarında enerji performansını ve iç ortam hava kalitesini arttırmak.	Simülasyon	IDA-ICE	Kavite genişliği Cephe yönlenmesi Boşluk havalandırma stratejisi
[25], 2022	Mekanik havalandırmalı ÇCC'lerin ısı transfer davranışını incelemek.	Deney	İklim Simülatörü Testi	Kavite genişliği İç ve dış katman özellikleri
[26], 2022	Doğal havalandırmalı ÇCC sistemine sahip yapının havalandırma performansını optimize etmek.	Simülasyon	EnergyPlus, DesignBuilder, JEPlus	Menfez konumu Kavite yüksekliği Pencere/duvar oranı
[27], 2022	Kavisli ÇCC'lerin ısıl ve doğal havalandırma performansını incelemek.	Simülasyon	CFD	Cephe formu Kavite genişliği Eğrilik yarı çapı Kavite yüksekliği İç ve dış katman özellikleri
[28], 2022	Çok katmanlı havalandırmalı cephelerle ilgili araştırmaları derlemek.	Literatür taraması	-	-
[29], 2022	Havalandırmalı ÇCC'lerle ilgili literatürdeki çalışmaları derlemek.	Literatür taraması	-	-
[30], 2023	ÇCC sistemlerinde yatay açıklıklarla havalandırma performansını arttırmak.	Ölçüm	Termometre	Kavite genişliği Cephe yönlenmesi Güneş ve rüzgar önleyici sistemler
[31], 2023	Doğal havalandırmalı ÇCC'lerde hava debisi, ısıl performans ve havalandırma verimliliğini ortaya koymak.	Model	Analitik model	Kavite genişliği Kavite yüksekliği İç ve dış katman özellikleri
[32], 2024	Doğal havalandırmalı ÇCC'lerde rüzgar etkisini araştırmak.	Ölçüm	-	Kavite genişliği Kavite yüksekliği İç ve dış katman özellikleri

[33], 2024	Havalandırmalı ÇCC'de kavite boşluğunda rüzgar kaynaklı değişkenleri açıklamak.	Deney Ölçüm	Rüzgar tüneli testi	Kavite genişliği Kavite yüksekliği
[34], 2024	Mekanik havalandırmalı ÇCC'ye jaluzi ve ışık rafı entegrasyonun bina performansına etkisini araştırmak.	Deney Ölçüm		Kavite genişliği İç ve dış katman özellikleri Menfez özellikleri Panjur veya ışık rafı yerleşimi/özellikleri
[35], 2025	Geçiş mevsimlerinde ÇCC'lerde doğal havalandırma performansını araştırmak.	Deney Anket	-	Kavite genişliği Kavite yüksekliği Açıklık konumu
[36], 2025	ÇCC sistemlerinin havalandırma performansını maksimize etmek.	Optimizasyon	Grasshopper Butterfly	Kavite genişliği Kavite yüksekliği Geometrik oran
[37], 2025	Isıtma döneminde PV-ÇCC sistemlerinin doğal havalandırmanın iç mekan hava sıcaklığını araştırmak.	Deney Ölçüm	Termometre	Kavite genişliği İç ve dış katman özellikleri PV panelin konumu
[38], 2025	Eğimli lamellerle donatılmış ÇCC'nin havalandırma performansını kontrol etme.	Deney Model	-	Lamellerin eğim açısı Lameller arası mesafe Lamellerin yerleşim düzeni
[39], 2025	Tarihi binaların enerji etkin yenilenmesinde ÇCC sistemi entegrasyonu.	Simülasyon	EnergyPlus	Kavite genişliği Cam özellikleri Malzemelerin u-değerleri

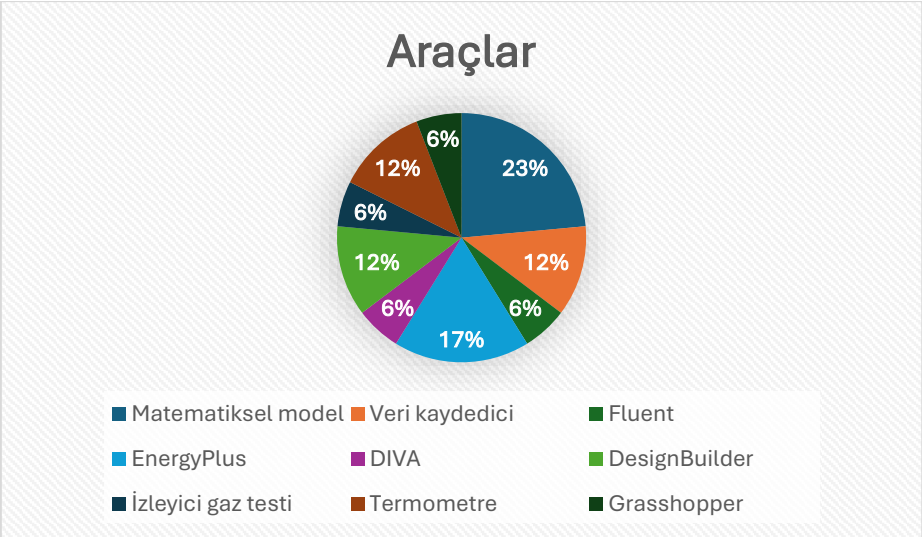
3.3. Değerlendirme

Çalışma, literatürde günümüze kadar olan dönemde gelişmiş cephe sistemlerinden ÇCC'lerin havalandırma performansını ele alan çalışmaları ele almıştır. Görsel 1, makalelerdeki farklı yöntemlerin kullanımını değerlendirmektedir. Görsele göre çalışmalar en çok ölçüm ve simülasyon yöntemlerini kullanmaktadır. Yapılan çalışmanın sonuçları ÇCC sistemlerinin havalandırma performansını araştıran makalelerin optimizasyon yöntemini diğer yöntemlere göre daha az tercih ettiğini göstermektedir.



Görsel 1. Çalışmalarda kullanılan yöntemlerin yüzdesi.

Görsel 2, literatürdeki çalışmaların kullandığı araçların yüzdelerini göstermektedir. Görsele göre ÇCC'lerin havalandırma performansını ele alan çalışmaların büyük çoğunluğu "Matematiksel Model (CFD)" oluşturmaktadır. Ayrıca veri kaydedici ve termometre bu çalışmalarda sıklıkla kullanılan araçlardır. Yapılan literatür taraması ÇCC'lerin havalandırma performansını ele alan çalışmalarda Grasshopper gibi parametrik modellemeye imkan sağlayan elemanların daha az kullanımı olduğunu göstermektedir. Ayrıca incelenen çalışmalarda ÇCC tasarım parametrelerinden "Kavite genişliği" parametresinin ele alındığı görülmektedir.



Görsel 2. Çalışmalarda kullanılan araçların yüzdesi.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Binalarda iç mekan performansını arttırmak amacıyla iç ve dış ortam arasında sınır görevi gören ve iç mekanı çevresel etkilerden koruyan cepheler, zaman boyunca tasarımcılar tarafından geliştirilmiştir. Geleneksel cephelerin bina iç mekan performansı göz önünde bulundurularak tasarlanmasıyla farklı gelişmiş cepheler elde edilmiştir. Binaların iç mekanında ısıl, görsel ve havalandırma performansının arttırılması enerjinin verimli kullanımını sağladığı gibi kullanıcı konforunu arttırmaktadır.

Binalarda iç mekan ısıl ve havalandırma performansını arttırmak amacıyla bina cephesinin önüne ek bir katmanın yerleştirilmesiyle elde edilen ÇCC'lerin tasarım parametrelerinin havalandırma performansına etkisi araştırmacıların odağı olmuştur. Çalışma ÇCC'lerin havalandırma performanslarını ele alan çalışmaları derlemeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda çalışma, ScienceDirect, Scopus, ResearchGate ve Google Scholar veri tabanlarından çalışmaları ele almıştır. Bu çalışmalardan konu ile ilgili olmayanlar elenmiş ve "ÇCC'lerde havalandırma performansı" üzerine çalışan makaleler sistematik bir şekilde incelenmiştir. Çalışma, incelenen makalelerin amaç, yöntem, araç ve incelenen ÇCC tasarım parametresini tablolaştırmıştır.

Çalışmanın sonuçları ÇCC'lerde havalandırma performansını ele alan çalışmaların çoğunlukla ölçüm ve simülasyon yöntemlerini benimsediğini saptarken kullanılan aracın büyük çoğunlukla "Matematiksel Model (CFD)" olduğunu tespit etmiştir. Çalışma, incelenen makalelerde ÇCC'lerde havalandırma performansının optimizasyon yöntemiyle iyileştirilmesinin diğer yöntemlere göre nispeten daha az olduğunu tespit etmiştir. Gelecek çalışmalar, iklime duyarlı projeksiyonlarda ÇCC tasarım parametrelerini dengeleyerek havalandırma performansını arttırmayı amaçlayan optimizasyon yöntemlerini kullanabilirler.

KAYNAKÇA

1. UN Sustainable Development Group, https://unsdg.un.org/.

2. Loonen, R. C., Trčka, M., Cóstola, D., Hensen, J. L. Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 483–493, 2013.

3. Wigginton, M., Harris, J. Intelligent skins, Routledge, 2013.

4. Hamza, N. Double versus single skin facades in hot arid areas, Energy and Buildings, 2008.

5. Belgian Building Research Institute (BBRI). Source book for a better understanding of conceptual and operational aspects of active facades, Department of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, Belgian Building Research Institute, Version 1, 2002.

6. Harrison, K., Meyer-Boake, T. The tectonics of the environmental skin, University of Waterloo, School of Architecture, 2003.

7. Poirazis, H. Double Skin Facades for Office Buildings, 2004.

8. Vatin, N., Murgul, V., Penić, M. Double skin facades in energy efficient design, Applied Mechanics and Materials, Vol. 680, 534–538, 2014.

9. İnan, T., Başaran, T. Çift cidarlı cepheler üzerine bir araştırma, Megaron, 2014.

10. Compagno, A. Intelligent glass facades (5th revised and updated edition), Birkhäuser, Berlin, 2002.

11. von Grabe, J. A prediction tool for the temperature field of double façades, Energy and Buildings, 34, 891–899, 2002.

12. Pasquay, T. Natural ventilation in high-rise buildings with double façades, saving or waste of energy, Energy and Buildings, 36, 381–389, 2004.

13. Safer, N., Woloszyn, M., Roux, J. J. Three-dimensional simulation with a CFD tool of the airflow phenomena in single floor double-skin façade equipped with a venetian blind, Solar Energy, 79, 193–203, 2005.

14. Ding, W., Hasemi, Y., Yamada, T. Natural ventilation performance of a double-skin façade with a solar chimney, Energy and Buildings, 37, 411–418, 2005.

15. Wong, P. Natural ventilation in double-skin façade design for office buildings in hot and humid climate, University of New South Wales, Australia, 2008.

16. Zhou, J., Chen, Y. review on applying ventilated double-skin façade to buildings in hot-summer and cold-winter zone in China, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14, 1321–1328, 2010.

17. Pasut, W., De Carli, M. Evaluation of various CFD modelling strategies in predicting airflow and temperature in a naturally ventilated double skin façade, Applied Thermal Engineering, 37, 267–274, 2012.

18. Peng, J., Lu, L., Yang, H. An experimental study of the thermal performance of a novel photovoltaic double-skin façade in Hong Kong, Solar Energy, 97, 293–304, 2013.

19. Marques da Silva, F., Gomes, M. G., Rodrigues, A. M. Measuring and estimating airflow in naturally ventilated double skin façades, Building and Environment, 2015.

20. Saleh, Z. M., Alibaba, H. Z. Integration of double skin facade with HVAC systems: The state of the art on building energy efficiency, International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering, 2015.

21. Srisamranrungruang, T., Hiyama, K. Balancing of natural ventilation, daylight, thermal effect for a building with double-skin perforated facade (DSPF), Energy and Buildings, 2020.

22. Matour, S., Garcia-Hansen, V., Omrani, S., Hassanli, S., Drogemuller, R. Wind-driven ventilation of double skin façades with vertical openings: Effects of opening configurations, Building and Environment, 196, 107804, 2021.

23. Tao, Y., Zhang, H., Huang, D., Fan, C., Tu, J., Shi, L. Ventilation performance of a naturally ventilated double skin façade with low-e glazing, Energy, 229, 120706, 2021.

24. Bugenings, L. A., Schaffer, M., Larsen, O. K., Zhang, C. A novel solution for school renovations: Combining diffuse ceiling ventilation with double skin facade, Journal of Building Engineering, 49, 104026, 2022.

25. Jankovic, A., Goia, F. Control of heat transfer in single-story mechanically ventilated double skin facades, Energy and Buildings, 271, 112304, 2022.

26. Yoon, N., Min, D., Heo, Y. Dynamic compartmentalization of double-skin façade for an office building with single-sided ventilation, Building and Environment, 208, 108624, 2022.

27. Huang, Y., Tao, Y., Shi, L., Liu, Q., Wang, Y., Tu, J., Cao, C. Thermal and ventilation performance of a curved double-skin facade model, Energy and Buildings, 268, 112202, 2022.

28. Andreeva, D., Nemova, D., Kotov, E. Multi-skin adaptive ventilated facade: A review, Energies, 15(9), 3447, 2022.

29. Lahayrech, S., Siroux, M., El Maakoul, A., Khay, I., Degiovani, A. A review: Ventilated double-skin façades, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1050(1), 012019, 2022.

30. Zhang, C., Larsen, O. K., Hu, Y., Mikkelsen, A. K., Pedersen, L. L., Nyborg, V. Ø., Larsen, T. S. Experimental investigation of an integrated renovation solution combining diffuse ceiling ventilation and double skin façade, Building and Environment, 246, 111000, 2023.

31. Tao, Y., Yan, Y., Chew, M. Y. L., Tu, J., Shi, L. A theoretical model of natural ventilation enhanced by solar thermal energy in double-skin façade, Energy, 276, 127534, 2023.

32. Tao, Y., Yan, Y., Tu, J., Shi, L. Impact of wind on solar-induced natural ventilation through double-skin facade, Applied Energy, 364, 123205, 2024.

33. Zheng, C., Chen, C., Hong, X., Zhang, W., Yang, R., Shi, F. Experimental evaluation of the thermal, lighting, and energy performances of a mechanically ventilated double-skin façade with Venetian blinds and a light shelf, Energy and Buildings, 306, 113947, 2024.

34. Xu, H., Yu, S., Chen, Y. Experimental and theoretical modelling of fluctuating internal wind pressures on a ventilated double skin facade of a building, Energy and Buildings, 323, 114795, 2024.

35. Liu, X., Pu, J., Shen, C., Lu, L. Energy balance of mechanically ventilated photovoltaic double skin façade: A case study in summer, Energy and Built Environment, 2025.

36. He, G., Fan, Z., Meng, Y., Yao, L., Ye, C. An experimental study of wind-driven ventilation with double skin facade during transition seasons, Energies, 18(13), 3249, 2025.

37. Ma'bdeh, S. N., Alali, R. O., Al-Shawabkeh, M., Almomani, R. M., Hamasha, A. A., Shannik, R., Alrebei, O. F. Optimizing airflow in double-skin facades: Influence of vents design and cavity depth, Cleaner Engineering and Technology, 26, 100980, 2025.

38. Aruta, G., Ascione, F., Iovane, T., Mastellone, M. Double-skin façades for the refurbishment of historic buildings: Energy-economic feasibility for different types of glazing and ventilation rates, Journal of Building Engineering, 103, 112125, 2025.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ BİNALARDA DIŞ DUVAR MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ

Mimar Zeynep ÇAKMAN

Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı

cakmanzeynep81@gmail.com- ORCID ID 0009-0007-6269-6380

Mimar Tuğba DİLİMEL

Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı

mimartugbadilimel@gmail.com- ORCID ID 0009-0001-1698-4716

Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

Düzce Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü,

ercanozgan@duzce.edu.tr- ORCID ID 0000-0003-4531-6394

ÖZET

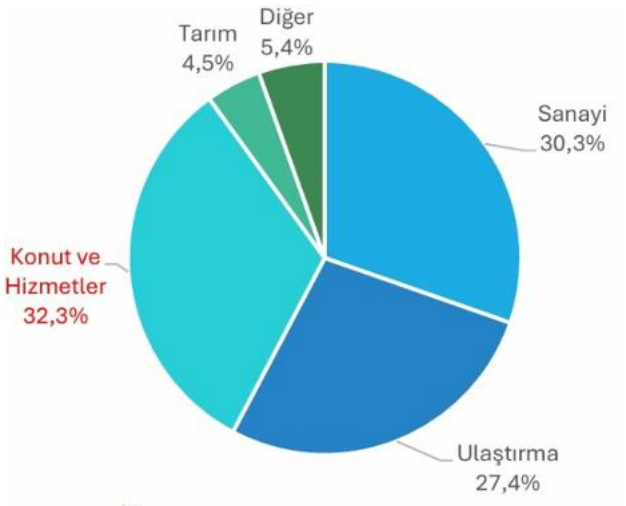
Bu çalışmada, 2025 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Ülkemizde en sıcak ve en soğuk yerleşim yerlerinin sıcaklık verileri dikkate alınarak oluşturulan dış duvar modelinin iç mahal konfor sıcaklığını sağlayabilmesi için "TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardına" göre optimum izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmış, her bir kesit tabakasında ki ısı kayıpları hesaplanmış, bu verilere bağlı olarak dış duvarda ısı geçiş grafikleri çizilmiş ve kesit üzerinde yoğuşma noktaları belirlenmiştir. Oluşturulan dış duvar kesitinin en soğuk ve en sıcak yerleşim yerlerinde yapılması durumunda izolasyon hesapları, ısı kayıpları ve ısı geçiş grafiklerindeki değişimler karşılaştırmalı olarak incelenmiş, aralarında fark olup olmadığı istatistiksel olarak karşılaştırmalı testlerle analiz edilmiştir. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda belirlenen optimum ısı yalıtım kalınlığı da dikkate alınarak duvar kesitlerinin 1 m^2 yüzey alanı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Birim Fiyatlarına göre maliyet analizleri de yapılmış ve elde edilen tüm sonuçlar hem soğuk hem de sıcak yerleşim yeri için karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, 2025 yılı verilerine göre Ülkemizin en sıcak ve en soğuk yerleşim yerlerinin meteorolojik verilerine bağlı olarak yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda optimum duvar kesitleri ve izolasyon kalınlıkları tespit edilerek tasarım ve uygulama için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mimari tasarım, Dış duvar, İzolasyon, TS 825, Maliyet.

GİRİŞ

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Enerji verimliliği günümüzde sürdürülebilir mimarlığın temel ilkelerinden biri haline gelmiştir. Artan enerji maliyetleri ve küresel ısınma sorunları, yapı sektöründe enerji tüketiminin azaltılmasını zorunlu kılmaktadır. Binalarda enerji tüketiminin önemli bir bölümü ısıtma ve soğutma amaçlı harcanmakta olup, bu oranın yaklaşık %40 seviyelerinde olduğu çeşitli araştırmalarda belirtilmektedir (Kadıoğlu & Şensoy, 2020). Bu durum, yapı kabuğunun özellikle de dış duvar sistemlerinin enerji etkin tasarımını zorunlu kılmaktadır. Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde, yıl içerisindeki sıcaklık farklarının yüksek olması, duvar bileşenlerinin bölgesel koşullara uygun olarak tasarlanmasını gerektirmektedir. Dış duvarlar, hem iç mekân konforunun hem de enerji tüketiminin doğrudan belirleyicisi olan yapı elemanlarıdır (Altınışık, 2017). Enerji tüketimi sektörel dağılımı Görsel 1' de gösterilmiştir.



Görsel 1: Enerji Tüketimi Sektörel Dağılım 2023

Türkiye'de binalarda ısı yalıtımı ile ilgili esasları belirleyen TS 825 "Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardı", farklı iklim bölgelerinde uygulanacak yalıtım kalınlıkları, ısı geçiş katsayıları (U değerleri) ve yoğuşma denetimi koşullarını ayrıntılı biçimde tanımlamaktadır (Türk Standartları Enstitüsü, 2013). Bu standart, ısı kayıplarını azaltarak enerji verimliliğini artırmayı ve kullanıcı konforunun sürekliliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak standartta belirtilen sınır değerler, ülkenin farklı iklim bölgelerinde aynı performansı göstermemektedir. Çünkü sıcaklık farkı, nem oranı, güneşlenme süresi gibi çevresel parametreler, her bölgenin özgün ısı iletim davranışını belirlemektedir. Bu nedenle, iklim verilerine dayalı bölgesel analizler yapılmadan belirlenen yalıtım kalınlıkları, kimi bölgelerde yetersiz kalmakta, kimi bölgelerde ise gereğinden fazla maliyet oluşturmaktadır. Binalardaki ısı kazanç ve kayıpları dağılımları Görsel 2'de gösterilmiştir.

Görsel 2: Binalarda Isı Kazanç/Kayıpları Dağılımı

Enerji etkin duvar tasarımında optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi, hem enerji tasarrufu hem de yatırım geri dönüş süresi açısından kritik bir parametredir. Yılmaz ve Özkul (2019), farklı yalıtım malzemelerinin kalınlık değişimlerinin yıllık enerji tüketimi üzerindeki etkisini incelemiş ve optimum kalınlığın hem enerji verimliliğini hem de ekonomik performansı doğrudan etkilediğini göstermiştir. Benzer şekilde Ersoy & Tankut (2013), duvar malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının (λ) doğru seçilmesinin, toplam ısı geçiş katsayısını (U) belirleyen en önemli etken olduğunu vurgulamıştır. Altınbaş & Polat (2020) tarafından yapılan çalışmalarda ise, malzeme bileşenleri arasındaki birleşim detaylarının ve uygulama kalitesinin ısı geçiş performansı üzerindeki etkisinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla optimum kalınlığın belirlenmesinde yalnızca yalıtım malzemesinin cinsi değil, aynı zamanda duvar kesitinde kullanılan tabaka düzeni ve uygulama detayları da dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma, Türkiye'nin en sıcak ve en soğuk yerleşim bölgelerinde, 2025 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre belirlenen sıcaklık değerleri esas alınarak hazırlanmıştır. Seçilen iki bölge, TS 825 standardında tanımlanan farklı iklim bölgelerini temsil etmektedir. Her iki bölge için aynı dış duvar kesiti esas alınmış, bu kesitin iç mekân konfor sıcaklığını sağlayabilmesi için gerekli optimum yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır. Her bir kesit katmanında ısı kayıpları belirlenmiş, ısı geçiş grafikleri oluşturulmuş ve yoğuşma noktaları tespit edilmiştir.

Binalarda toplam ısı kaybının önemli bir bölümü dış kabuğun bileşenleri üzerinden gerçekleştiği için, dış duvarlar ısıl performans açısından kritik bir rol oynar. Dış duvarlar; ısı iletimi, ısı depolama kapasitesi ve yüzey alanı gibi özellikleri nedeniyle ısı kaybının ana belirleyicilerindendir. Yetersiz yalıtılmış veya ısıl köprü içeren duvarlarda iletim yoluyla enerji kaybı artmakta, bu durum hem enerji tüketimini yükseltmekte hem de iç mekân konfor koşullarını olumsuz etkilemektedir. Çalışmalar, dış kabuktaki iyileştirmelerin özellikle dış duvarlarda yapılan ısı yalıtım uygulamaları sayesinde yıllık enerji tüketimini anlamlı ölçüde azalttığını göstermektedir Asdrubali & Ozel (2014). Bu nedenle dış duvarların doğru detaylandırılması, uygun malzeme seçimi ve yeterli yalıtım kalınlığının belirlenmesi, sürdürülebilir ve enerji verimli bina tasarımının temel unsurları arasında yer almaktadır.

Ayrıca belirlenen optimum izolasyon kalınlıklarına göre 1 m² duvar yüzey alanı için Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın birim fiyat analizleri dikkate alınarak maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Böylece hem sıcak hem de soğuk iklim koşullarında dış duvar

bileşenlerinin ısı yalıtım performansları ile maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Çalışmanın özgün yönlerinden biri, analiz sonuçlarının **detay çizimleri** ile desteklenecek olmasıdır. Çizimlerde, duvar kesitlerinin her bir tabakası malzeme cinsi ve poz numaraları, kalınlığı ve uygulama biçimiyle birlikte gösterilerek ısı köprüleri, yoğuşma bölgeleri ve ısı geçiş yönleri ortaya konmuştur. Bu sayede çalışmanın, yalnızca kuramsal bir analiz olmanın ötesine geçerek uygulama sürecine doğrudan katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak bu araştırma, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan binalar için dış duvar tasarımında optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesine yönelik bir yöntem sunmakta; TS 825 standardı temelinde enerji verimliliği ve ekonomik sürdürülebilirliği birlikte değerlendiren bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Elde edilen verilerin, mimari tasarım ve uygulama sürecinde malzeme seçimi, kesit çözümü ve maliyet planlaması açısından önemli faydalar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL ve METOT

Bu çalışmanın materyal ve metot bölümü, farklı iklim bölgelerinde yer alan iki kent için dış duvar yapı bileşenlerinin ısı geçiş performansının analiz edilmesine dayanmaktadır. İnceleme kapsamında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre 2025 yılında Erzurum Türkiye'nin en soğuk yerleşim bölgelerinden biri, **Cizre** ise en sıcak bölgelerinden biri olarak seçilmiştir. Böylece aynı dış duvar kesitinin, iklimsel farklılıklara bağlı olarak nasıl değişken bir ısı performansı sergilediği araştırılmıştır. Bu şehirler, Türkiye'nin en yüksek ve en düşük tasarım sıcaklıklarının görüldüğü yerleşimler olması ve bu verilerin MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü) ölçümleri ile doğrulanması nedeniyle çalışma kapsamında bu yerleşim yerleri seçilmiştir. Böylece dış ortam koşullarının ısı transferi üzerindeki etkisinin maksimum fark ile incelenmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kullanılan dış duvar kesiti, dış ortamdan iç ortama doğru aşağıdaki tabakalardan oluşmaktadır:

- Dış yüzey ısı taşınım direnci (1/αd),
- Dış yüzey sıvası,
- Isı yalıtımı (Foamboard),
- Yapıştırma harcı,
- Yatay delikli tuğla gövdesi,
- İç sıva ve iç yüzey ısı taşınım direnci (1/αi).

Tüm malzeme ısı iletkenlik katsayıları (λ) ve yüzeysel ısı taşınım katsayıları (α), **T**S 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardında belirtilen değerler üzerinden alınmış ve hesaplamalara uygulanmıştır.İklime bağlı ısı kayıp/kazanç hesaplarında dış ortam tasarım sıcaklıkları ve iklim bölgeleri, yine TS 825 iklim sınıflandırmasına dayanılarak belirlenmiştir. Erzurum için dış tasarım sıcaklığı –32,6 °C, Cizre için ise 49,4 °C olarak ele alınmıştır. İç mekân sıcaklıkları her iki il için 20 °C kabul edilmiştir.

Çalışmada, TS 825 şartlarına uygun olarak dış duvar kesiti ve izolasyon malzemesi kalınlıkları hesaplandıktan sonra bu dış duvar kesitinin **2**025 yılı T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Birim Fiyatları doğrultusunda 1 m² yüzey alanı için maliyet

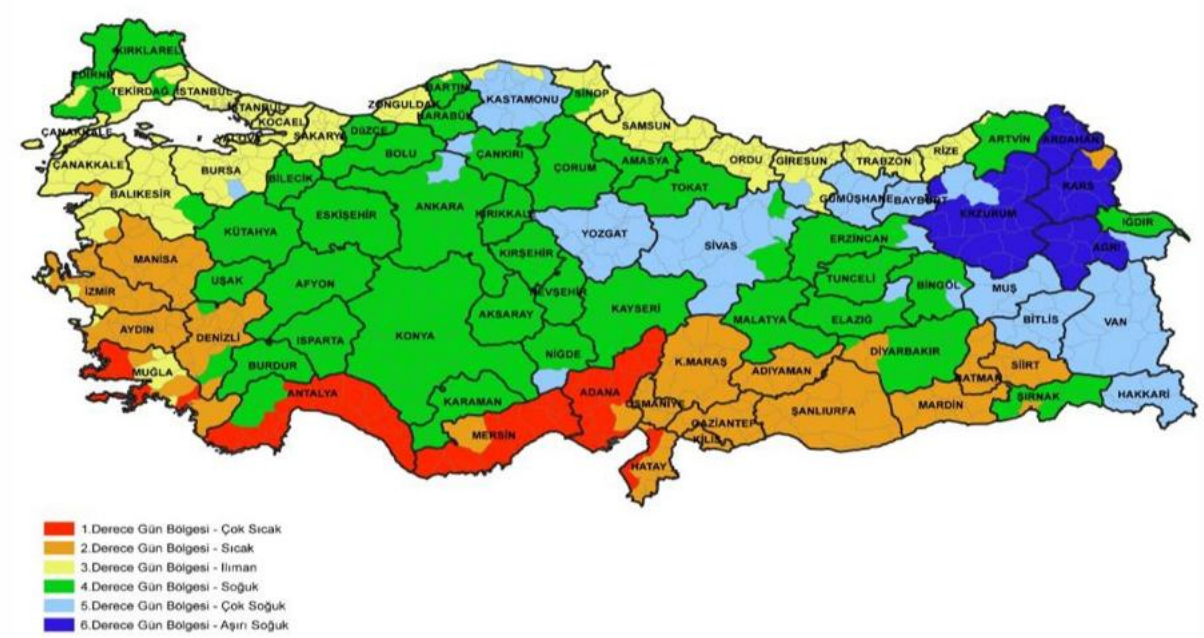
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

hesabı yapılmıştır. Malzeme ve işçilik birim fiyatları tablolaştırılmış ve yalıtım kalınlığındaki değişimin toplam maliyet üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Böylece enerji performansının maliyet ile ilişkisi değerlendirilerek ekonomik açıdan da optimum analiz yapılmıştır. Bu metot kapsamında tüm hesaplamalar, iklimsel performans, malzeme ısıl özellikleri ve ekonomik etkiler bir arada değerlendirilerek disiplinler arası bir yaklaşım ortaya koymaktadır.

2.1. Meteorolojik Verilerin Belirlenmesi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü sıcaklık ve yağış değerlendirmelerine göre 2025 yılında en düşük sıcaklık -32,6 °C ile Şubat ayında Erzurum İli Horasan İlçesi'nde gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklık ise 49,4 °C ile haziran ayında Şırnak İline bağlı Cizre İlçesi'nde kaydedilmiştir.

TS 825:2008 Standardında Türkiye İklim Bölgeleri haritası 4 bölgeden oluşurken TS 825:2024 Standardı ile revize edilmiş ve 6 bölgeye çıkartılmıştır. 2024 Türkiye İklim Bölgeleri Haritası'na (Görsel 3) göre en soğuk yerleşim yeri Horasan ''6. Derece Gün Bölgesi'' nde, en sıcak yerleşim yeri Cizre ise ''2. Derece Gün Bölgesi''nde yer almaktadır.



Görsel 3: TS 825:2024 Türkiye İklim Bölgeleri Haritası

Görsel 3'te verilen Türkiye İklim Bölgeleri Haritası' nda kullanılan ''derece gün bölgeleri'' baz alınarak U değeri seçilmektedir. U değeri, yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayısıdır ve ısıl performans hesaplamasında bu değerden yararlanılarak izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmaktadır. TS 825:2024 Standardı 'nda bölgelere ve yapı bileşenine göre tavsiye edilen U Değerleri Görsel 4'te verilmiştir. Dış Duvar için ''Dış Duvar Ud'' değerleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

alınmalıdır.

TS 825: 2024	Duvar	Tavan/Çatı	Döşeme	Pencere	
	U_D (W/m²K)	U_T (W/m²K)	U_t (W/m²K)	U_P* (W/m²K)	g (-)
1. Bölge	0,45	0,35	0,4	1,8	≤ 0,45
2. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	≤ 0,45
3. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	≤ 0,45
4. Bölge	0,35	0,25	0,3	1,8	≥ 0,55
5. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	≥ 0,55
6. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	≥ 0,55

Görsel 4: TS 825:2024 Tavsiye Edilen U Değerleri

Erzurum İli'nde bulunan Horasan İlçesi Türkiye İklim Bölgeleri Haritası'na göre ''6. derece gün bölgesi''ne girmektedir. Bu bilgiye dayanarak ''İzoder Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği - Erzurum iline ait TS 825 dosyası''nda verilen U değeri Görsel 5'te verilmiştir. Hesaplamada Görsel 5'te verilen 6. Bölgenin Duvar U değeri 0,25 W/m2.K kullanılacaktır.

İklim Bölgesi	Duvar U_D (W/m²K)	Tavan / Çatı U_T (W/m²K)	Döşeme U_t (W/m²K)	Pencere U_P (W/m²K)	g (-)
5-6	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55
İklim Bölgesi	**Duvar U_D (W/m²K)**	**Tavan / Çatı U_T (W/m²K)**	**Döşeme U_t (W/m²K)**	**Pencere U_P (W/m²K)**	**g (-)**
5-6	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55

Görsel 5: İzoder TS 825:2024 Bilgi Notları Haritası, Erzurum U Değerleri

Şırnak İli'nde bulunan Cizre İlçesi Türkiye İklim Bölgeleri Haritası'na göre ''2. derece gün bölgesi''ne girmektedir. Bu bilgiye dayanarak ''İzoder Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği - Şırnak iline ait TS 825 dosyası''nda verilen U değeri aşağıda Görsel 6'da verilmiştir. Hesaplamada Görsel 6'da verilen 2. Bölgenin dış duvar U değeri 0,40 W/m2.K kullanılacaktır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

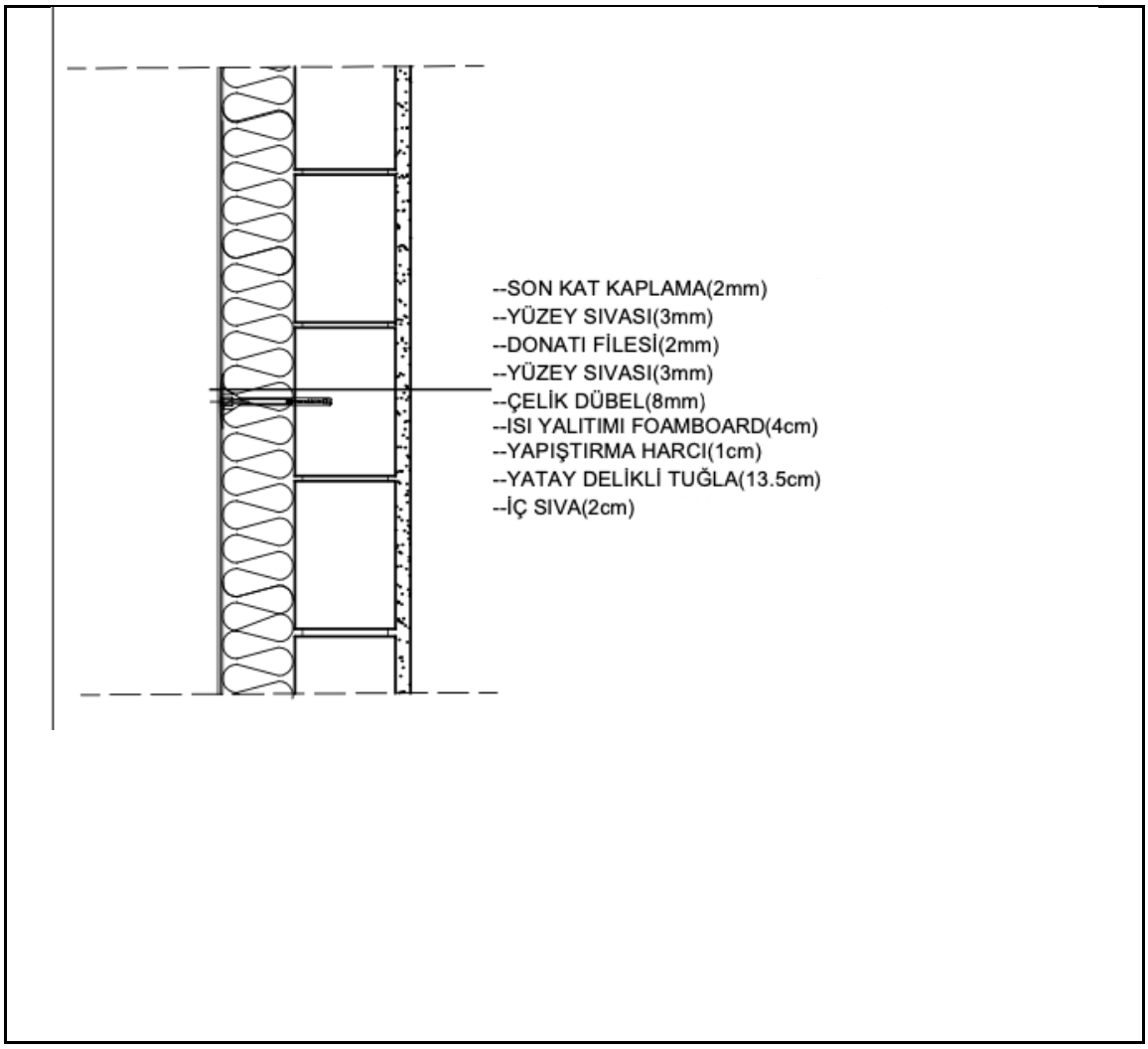
İklim Bölgesi	Duvar U_D (W/m²K)	Tavan / Çatı U_T (W/m²K)	Döşeme U_t (W/m²K)	Pencere U_P (W/m²K)	g (-)
2	0,40	0,30	0,35	1,8	≤0,45
İklim Bölgesi 2'deki ilçeler: Cizre					
4	0,35	0,25	0,30	1,8	≥0,55
İklim Bölgesi 4'deki ilçeler: Şırnak Merkez					

Görsel 6: İzoder TS 825:2024 Bilgi Notları Haritası, Şırnak U Değerleri

2.2. Dış Duvar Kesiti

Üzerinde çalışılacak dış duvar kesiti Çizelge 1'de verilmiştir. Kesitte gösterilen yapı malzemeleri seçiminde, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2025 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesinden yararlanılmış olup malzemelerin poz numaraları da belirtilmiştir. Çalışma sonunda poz numaraları verilen bu malzemelerin fiyatlarından yararlanarak duvarın 1 metrekaresi için maliyet analizi yapılmıştır.

Çizelge 1: Dış Duvar Kesiti



ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3. UYGULAMA

TS 825 hesap esasları dikkate alınarak 2025 yılında Ülkemizde en soğuk yer olarak kayıtlara geçen Erzurum ili Horasan ilçesinde yapılması planlanan bir dış duvar kesitinde yer alan yapı malzemelerinin kalınlıklarına göre dış duvar izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmıştır.

3.1. 2025 Yılı ‘’En Soğuk’’ Yerleşim Yeri Horasan İçin Hesap Metodu

3.1.1. Dış Duvar İzolasyon Malzemesi Kalınlığının Hesaplanması

3.1.1.1. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması

Dış duvar kesitinde yer alan yapı bileşenlerinin isimleri, kalınlıkları, ısıl iletkenlik değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan Isıl Geçirgenlik Direnci hesap sonuçları Çizelge 2’ de gösterilmiştir. Çizelge de bilinmeyen değer olarak izolasyon malzemesinin kalınlığı “A” ile sembolize edilmiş ve hesaplar tabloda ki verilere ve derece gün bölgesi verilerine göre yapılmıştır.

Çizelge 2. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması

DIŞ DUVAR UYGULAMASINDA KULLANILAN YAPI BİLEŞENLERİ	YAPI BİLEŞENLERİ KALINLIĞI - d (m)	ISIL İLETKENLİK HESAP DEĞERİ λ (w/mK)	ISIL GEÇİRGENLİK DİRENCİ R = d / λ (m²K/W)
1/ai Yüzeysel İletim Kat Sayısı (İç)	--------	--------	0.13
İç Sıva (D1)	0.02	1	0.02
Yatay Delikli Tuğla (D2)	0.19	0.45	0.42
Yapıştırma Harcı (D3)	0.002	Oca.40	0.001
Isı Yalıtım Foamboard (D4)	A	0.035	B
Yüzey Sıvası(D5)	0.003	1	0.003
Yüzey Sıvası (D6)	0.003	1	0.003
1/ad Yüzeysel İletim Kat Sayısı (Dış)	--------	--------	0.04

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısıl geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d1, d2, ..., dn) ve bu yapı elemanlarının, ısıl iletkenlik hesap değerleri (λ1 , λ2 ... λn) kullanılarak denklem 1 ile hesaplanır.

$$R = \frac{d1}{\lambda 1} + \frac{d2}{\lambda 2} + \frac{d3}{\lambda 3} + \cdots \frac{dn}{\lambda n}$$ **Denklem 1**

R : Isıl geçirgenlik direnci (m2.K/W),
d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),
λ : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)’dir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3.1.1.2 Toplam Isıl Geçirgenlik Direncinin (1/U) Hesaplanması

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (1/U), yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençlerine (R) yüzeysel ısıl iletim direnci değerleri (Ri, Re) eklenerek denklem 2 ile hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = Ri + (R1 + R2 + R3 + R4) + Re \qquad \textbf{Denklem 2}$$

1/ U : Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (m2.K/W),
Ri : İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m2.K/W),
Re : Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m2.K/W)'dir.

Not : Re ve Ri ifadeleri, çatı katı döşemelerinde sırasıyla a(dış) ve a(iç) olarak gösterilir. Bu nedenle hesaplamalarımızda bu bölümden sonra ısıl geçirgenlik dirençleri ''ad'' ve ''ai'' ifadeleri ile sembollenecektir.

Not : Yapı bileşenlerinin ısıl iletkenlik hesap değeri (λ) değerleri, İzoder TS 825 Hesap Programı'nda bulunan ''Ek E - Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısıl iletkenlik hesap değeri (λ) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (m)'' çizelgesinden alınmıştır. Yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısıl iletim direnç değerleri (R) için ise, Görsel 7'de verilen 6 sıra no'lu bileşen tipinin Ri ve Re değerleri kullanılmıştır.

Sıra no	Yapı bileşeni tipi[3]	Yüzeysel ısıl iletim direnci [1) 2)]	
		R_i (m^2K/W)	R_e (m^2K/W)
1	Dış duvar (Sıra no 2 'de verilenin dışındaki dış duvarlar)	0,13	0,04
2	Arkadan havalandırılan giydirme cepheli[4] dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar		[5]
4	Toprak temaslı dış duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması hâlinde	0,13	[5]
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması hâlinde	0,17	
8	Bodrum tavanı	0,17	[5]
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları		0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0

Görsel 7: Hesaplanmış yüzeysel ısıl iletim (taşınım) direnç değerleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Her yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik direnci değerini toplayarak toplam ısıl geçirgenlik direnci yani 1/U ‘yu buluruz.

$$\frac{1}{U} = 0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}06 + 0{,}03 + \left(\frac{d4}{0{,}035}\right) + 0{,}08$$

Bu denklemde U değeri birazdan hesaplanarak yerine koyulacaktır. Bu durumda tek bilinmeyen değer ısı izolasyon malzemesi kalınlığı olduğundan sonuca ulaşılabilecektir.

3.1.1.3 Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması

U değeri, çatı, duvar, döşeme, pencere gibi yapı bileşenlerinin ne kadar ısı geçirdiğini ifade eder. U değeri arttıkça yapı bileşeninden geçen ısı miktarı da artar. U değeri düştükçe yapı bileşeninin ısı yalıtım performansı o kadar iyi olmaktadır.

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U), denklem 2’deki formülün aritmetik tersi alınarak denklem 3’e göre hesaplanır.

$$U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}$$

Denklem 3

6. Bölgede 2024 yılı TS 825 Standardına göre dış duvarlar için U değeri 0,25 verilmiştir. U değeri de bilindiğine göre R4 değeri üzerinden ısı izolasyon malzemesinin kalınlığı ’’D4’’ bulunacaktır.

Çizelge 3. Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Hesabı - D4

TOPLAM ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISININ (U) HESAPLANMASI
$U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}$
$0{,}25 = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}42 + 0{,}001 + R4 + 0{,}04}$
$0{,}25 = \frac{1}{0{,}617 + R4}$ **Bu ifadeden d4=0,1184 bulunur.** d4 = 0,1184 olamayacağından **12 cm alınacaktır**. Buna göre yeni R4 = 3,42 alınacaktır

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3.1.2. Yapı Bileşeninden Geçen Isı Kaybı Hesabı

Kararlı durumdaki bir ısı akış yoğunluğu (q), denklem 4'e göre hesaplanır.

$$q = U.(Qi - Qe)$$

Denklem 4

q : Isı akış yoğunluğu (W/m2),
Qi : İç ortam sıcaklığı (°C),
Qe : Dış ortam sıcaklığı (°C),
U : Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m2.K)'dır.

$$q = U.(Qi - Qe)$$

1/0.247 =4.05

q toplam: [(20)-(-32.6)]/(4.05) = 52.6/4.05 = **q toplam = 13 (W/) m² bulunur.**

Çizelge 4. Tüm Yapı Elemanının 1 m² lik Alanından Geçecek Toplam Isı Geçiş Miktarını Hesaplaması

1) İç Duvara Dokunduğumuzda Duvar Yüzeyi Sıcaklık Hesabı			
Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
'a(i) " İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (İç Ortam)	---	---	0,13
İç Ortam Sıcaklığı = Ti = 20 °C 'dir			
1/αi=0.13 ise αi=1/0.13 ve αi=7.69 bulunur. (20-T1) =13/7.69 ise buradan 20-T1=1.69 ve	**T1 =20−1,69= 18,31∘C BULUNUR**		

2) İç Sıvanın Bittiği Ve Yatak Delikli Tuğlanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık Hesabı			
Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
İÇ SIVA (d1)	d1 = 0,02	λ1 = 1	R1 = 0,02
Sıva Yüzey Sıcaklığı = T1 = 18,31°C 'ydi.			
λ1 q = d1 (T1 − T2)	(T1-T2)= (13)/(1/0.02)	18.31- T2= 0.26	**T2 =18,05∘C BULUNUR**
3) Yatay Delikli Tuğlanın Bittiği Yapıştırma Harcının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık Hesabı			

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YATAY DELİKLİ TUĞLA (d2)	d2 = 0,19	λ2 = 0,45	R2 = 0,52

İç Sıvanın Bittiği Ve Yatak Delikli Tuğlanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T2 = 18,05 °c 'ydi

λ2 q = d2 (T2 T3)	(T2−T3)=13/(0.45/0.19)	18.05−T3 =5.5	**T3 =12.55 ∘C BULUNUR**

4) Yapıştırma Harcının Bittiği Ve Isı Yalıtımının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YAPIŞTIRMA HARCI (d3)	d3= 0,002	λ3 = 1,40	R3= 0,001

Yatay Delikli Tuğlanın Bittiği Yapıştırma Harcının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T3 = 12,55 °C 'ydi

λ3 q = d3 (T3 − T4)	(T3 −T4) =13/(1.40/0.002)	12.55−T4 =0.1	**T4 =12.45 ∘C BULUNUR**

5) Isı Yalıtımının Bittiği Yüzey Sıvanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
ISI YALITIM FOAMBOARD (d4)	d4 = 0,12	λ4 = 0,035	B

Yapıştırma Harcının Bittiği Ve Isı Yalıtımının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T4 = 12,45°C 'ydi

λ4 q = d4 (T4 − T5)	(T4−T5)=13/(0.035/0.12)	12.45−T5 =44.8	**T5 =−32.35 ∘C BULUNUR**

6) Yüzey Sıvanın Bittiği Yüzey Sıvasının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YÜZEY SIVASI (d5)	d5= 0,003	λ5 = 1,00	R5= 0,003

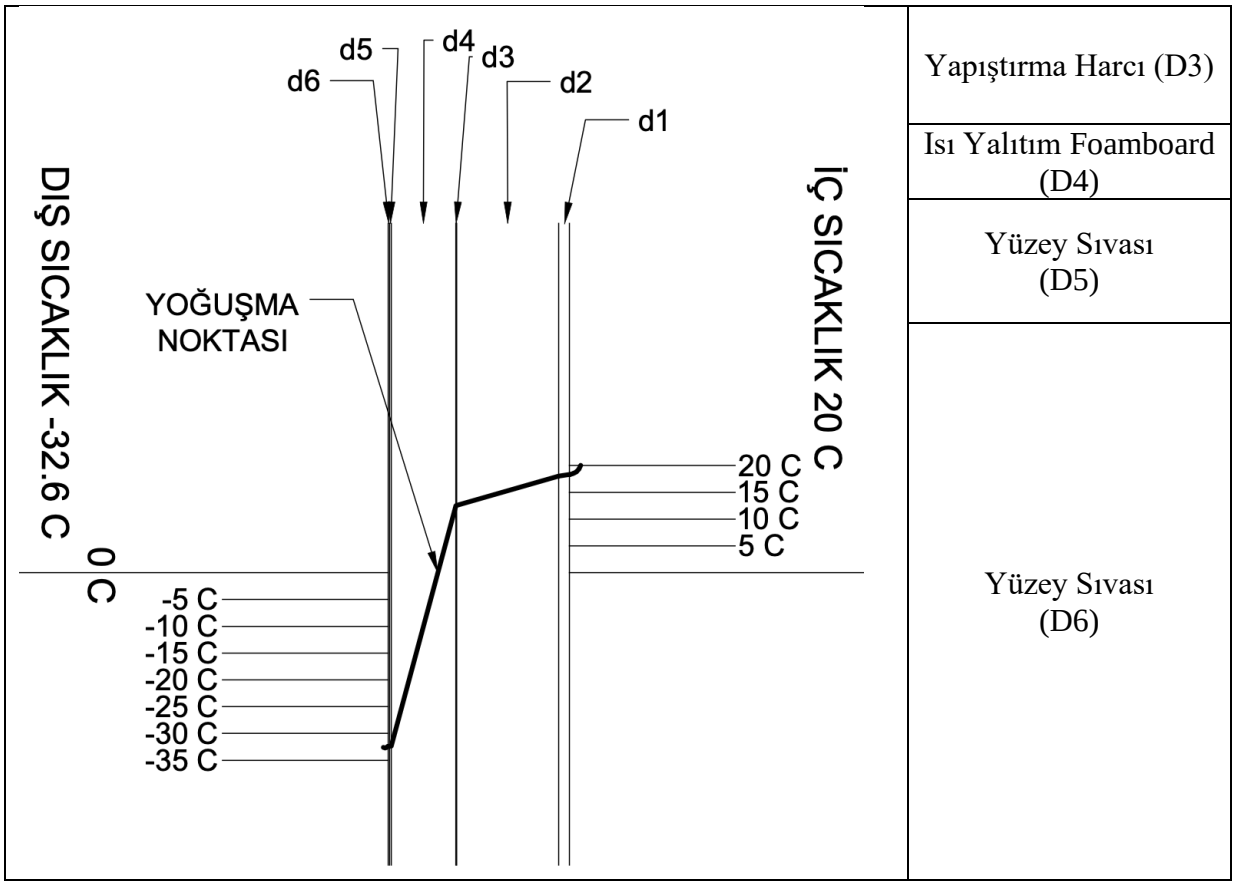
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Isı Yalıtımının Bittiği Yüzey Sıvanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T5 = -32.35°C 'ydi			
λ5 q = d5 (T5 − T6)	(T5−T6) =13/(1/0.003)	32.35−T6 =0.03	**T6 =−32.38 ∘C BULUNUR**
7) Yüzey Sıvanın Bittiği Dış Yüzeye Çıkılan Ara Çizgideki Sıcaklık			
Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri		**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YÜZEY SIVASI (d6)		d6= 0,003	λ6 = 1,00	R6= 0,003
Yüzey Sıvanın Bittiği Yüzey Sıvasının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T6 = -32.38°C 'ydi			
λ5 q = d5 (T5 − T6)	(T6−T7) =13/(1/0.003)	32.38−T6 =0.03	**T7 =−32.41 ∘C BULUNUR**
8) Dış Yüzeyden Tam Dış Ortama Geçiş Çizgisindeki Sıcaklık			
Erzurum Horasan için dış hava sıcaklığı, MGM Şubat 2025 ekstrem sıcaklık değerinden alınmıştır:			
Dış sıcaklık = –32.6 °C			
Dış yüzeyde hesapla bulduğumuz sıcaklık:			
T7 = –32.41 °C			
Aradaki fark: 0.19 °C Yani hesaplanan dış yüzey sıcaklığı ile alınan dış hava sıcaklığı neredeyse aynıdır, hesap tutarlıdır.			

3.1.3. Dış Duvar Kesiti Yoğuşma Grafiği Çizimi (Horasan)

	D
	İç Sıva (D1)
	Yatay Delikli Tuğla (D2)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 8. Dış Duvar Kesiti Yoğuşma Grafiği Çizimi

Yukarıdaki dış duvar kesiti grafiğine göre ; yatay delikli tuğlanın dış yüzeyinden 3,53 cm dışarıda, ısı izolasyon malzemesi içerisinde yoğuşma olmaktadır.

3.1.4. En Soğuk Yerleşim Yerinde Dış Duvarın 1m² Maliyet Hesabı

Dış duvar kesitinde yer alan bileşenlerin kalınlıkları ve TS 825'e göre hesap sonuçları tablolar da gösterilmiştir. Bu hesap sonuçlarına göre belirlenen izolasyon malzemesi kalınlıkları ve duvar kesitinde yer alan diğer bileşenlerin 1 m² duvar yüzeyi için birim maliyeti Poz Numaralarına bağlı olarak çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2025 yılı birim fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Dış Duvar Kesitinin 1 m2'lik Alanında Bulunan Malzemelerin Maliyeti [8]

DIŞ DUVAR HORASAN İÇİN 1 m² MALİYET HESABI				
POZ NO	**YAPI BİLEŞENİ**	**KALINLIK (m)**	**BİRİM FİYAT (TL)**	**1m² MALİYET**
15.275.1112	İÇ SIVA	0,02	535,60	535,60

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

15.220.1015	YATAY DELİKLİ TUĞLA	0,19	763,43	763,43
15.341.1004	ISI YALITIM FOAMBOARD (Yapıştırma Harcı Dahil)	0,12	887,99	887,99
15.275.1111	YÜZEY SIVASI	0,003	601,88	601,88
			TOPLAM	=2.788,9

3.2. TS 825'E Göre En Sıcak Yer Olan Cizre'de Dış Duvar İzolasyon Hesapları

3.2.1. Dış Duvar İzolasyon Malzemesi Kalınlığının Hesaplanması

En soğuk ve en sıcak yerleşim yerlerinde ısı izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanırken tekrar hesaplanması gereken farklı değerler şunlardır; Yerleşim yerinin dış ortam sıcaklığı ''Qe'' değeri ve dolayısıyla Türkiye İklim Bölgeleri Haritası'na göre kaçıncı derece gün bölgesinde olduğuna bağlı olan ''U'' değeri değişmektedir.

Isı yalıtım malzemesi dışında diğer yapı bileşenlerinin kalınlıkları (d) ve ısıl iletkenlik hesap değerleri (λ) değişmeyeceğinden, ısıl geçirgenlik dirençleri de (R) değişmemektedir.

Çizelge 6. Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Hesabı - D4

TOPLAM ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISININ (U) HESAPLANMASI
$U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}$
$0{,}40 = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}42 + 0{,}001 + R4 + 0{,}04}$
$0{,}40 = \frac{1}{0{,}617 + R4}$ **Bu ifadeden** d4= 0,0659 bulunur. d4 = 0,0659 olamayacağından 7 cm alınacaktır. Buna göre yeni R4 = 2 alınacaktır

Hesaplamada, iç ortam sıcaklığı konutlar için konfor sıcaklığı kabul edilen 20 °C , dış ortam sıcaklığı 2025 yılı en sıcak yerleşim yeri Cizre için 49.4°C alınacaktır. Cizre 2. Bölge dış duvar U değeri 0,40'tır. Bu durumda ;

$q = U.(Qi - Qe)$

1/0.38 =2.63

q toplam: [(20)-(49.4)]/(2.63) = -29.4/2.63 = **q toplam = -11.17 (W/) m²**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 7. Tüm Yapı Elemanının 1 m² lik Alanından Geçecek Toplam Isı Geçiş Miktarını Hesaplaması

1) İç Duvara Dokunduğumuzda Duvar Yüzeyi Sıcaklık Hesabı

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
'a(i) " İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (İç Ortam)	---	---	0,13
İç Ortam Sıcaklığı = Ti = 20 °C 'dir.			
1/αi=0.13 ise αi=1/0.13 ve αi=7.69 bulunur. (-11.17)/(1/0.13) = (-11.17)/7.69 = -1.45 20 – T_1 = -1.45	**T1 = 21.45 °C BULUNUR**		

2) İç Sıvanın Bittiği Ve Yatay Delikli Tuğlanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
İÇ SIVA (d1)	d1 = 0,02	λ1 = 1	R1 = 0,02
Sıva Yüzey Sıcaklığı = T1 = 21,45 C 'ydi.			
λ1 q = d1 (T1 − T2)	(T_1 – T_2) = (-11.17)/(1/0.02)	21.45 – T_2 = -0.22	**T2 = 21.67 °C BULUNUR**

3) Yatay Delikli Tuğlanın Bittiği Yapıştırma Harcının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YATAY DELİKLİ TUĞLA (d2)	d2 = 0,19	λ2 = 0,45	R2 = 0,52
İç Sıvanın Bittiği Ve Yatak Delikli Tuğlanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T2 = 21,67 °C 'ydi			
λ2 q = d2 (T2 T3)	(T2 −T3)=(-11.17)/(0.45/0.19)	21.67−T3 =-4.69	**T3 =26.36 ∘C BULUNUR**

4) Yapıştırma Harcının Bittiği Ve Isı Yalıtımının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YAPIŞTIRMA HARCI (d3)	d3= 0,002	λ3 = 1,40	R3= 0,001
Yatay Delikli Tuğlanın Bittiği Yapıştırma Harcının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T3 = 26,36 °C 'ydi			

λ3 q = d3 (T3 − T4)	(T3 −T4)=(-11.17)/(1.40/0.002)	26.36−T4 =-0.1	**T4 =26.37 ∘C BULUNUR**

5) Isı Yalıtımının Bittiği Yüzey Sıvanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
ISI YALITIM FOAMBOARD (d4)	d4 = 0,12	λ4 = 0,035	B
Yapıştırma Harcının Bittiği Ve Isı Yalıtımının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T4 = 26,37 °C 'ydi			

λ4 q = d4 (T4 − T5)	(T4 −T5)=(-11.17)/(0.035/0.12)	26.37−T5 =-22.52	**T5 = 48.89∘C BULUNUR**

6) Yüzey Sıvanın Bittiği ve Yüzey Sıvasının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YÜZEY SIVASI (d5)	d5= 0,003	λ5 = 1,00	R5= 0,003
Isı Yalıtımının Bittiği Yüzey Sıvanın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T5 = 48,89°C 'ydi			

λ5 q = d5 (T5 − T6)	(T5−T6)=(-11.17)/(1/0.003)	48.89−T6 =-0.067	**T6 =48.96 ∘C BULUNUR**

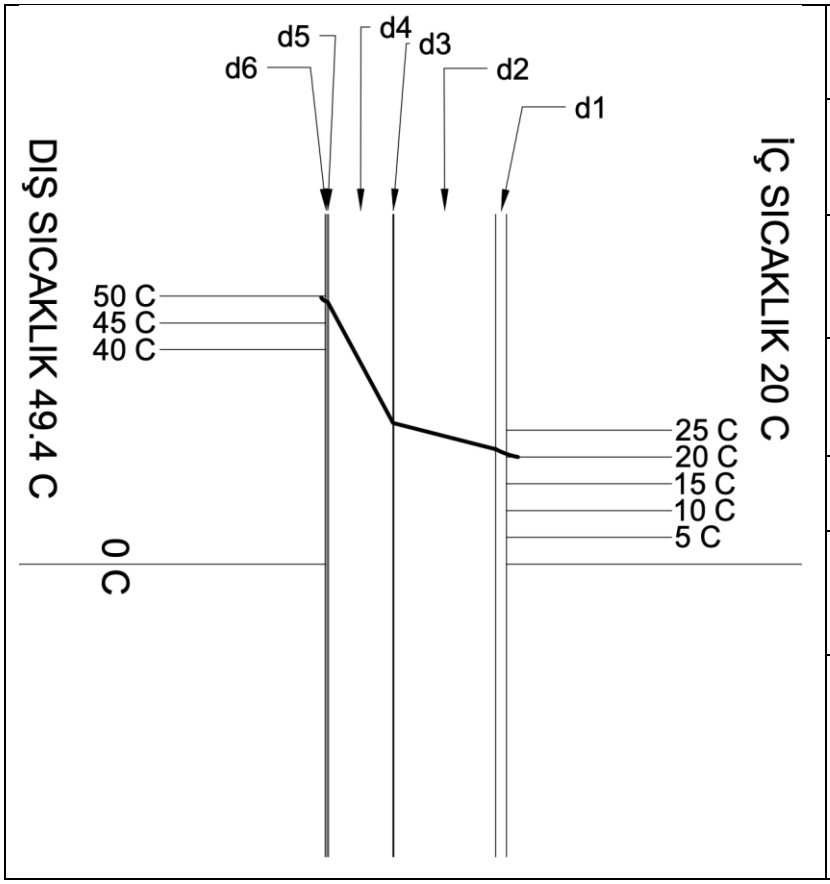
7) Yüzey Sıvanın Bittiği Dış Yüzeye Çıkılan Ara Çizgideki Sıcaklıkk

Duvarda Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (W/Mk**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
YÜZEY SIVASI (d6)	d6= 0,003	λ6 = 1,00	R6= 0,003
Yüzey Sıvanın Bittiği Yüzey Sıvasının Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık = T6 = 48,96°C 'ydi.			

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

λ5 q = d5 (T5 − T6)	(T6−T7) =12.12/(1/0.003)	48.96−T7 =-0.45	**T7 = 49.41 ∘C BULUNUR**
8) Dış Yüzeyden Tam Dış Ortama Geçiş Çizgisindeki Sıcaklık			
Şırnak Cizre için dış hava sıcaklığı, MGM Temmuz 2025 ekstrem sıcaklık değerinden alınmıştır:			
Dış sıcaklık = 49.4 °C			
Dış yüzeyde hesapla bulduğumuz sıcaklık:			
T6 = 49.1 °C			
Aradaki fark: 0.31 °C Yani hesaplanan dış yüzey sıcaklığı ile alınan dış hava sıcaklığı neredeyse aynıdır, hesap tutarlıdır.			

3.2.2. Dış Duvar Kesiti Grafiği Çizimi (Cizre)



D
İç Sıva (D1)
Yatay Delikli Tuğla (D2)
Yapıştırma Harcı (D3)
Isı Yalıtım Foamboard (D4)
Yüzey Sıvası (D5)
Yüzey Sıvası (D6)

3.2.3. En Sıcak Yerleşim Yerinde Dış Duvarın 1m² Maliyet Hesabı

Dış duvar kesitinde yer alan bileşenlerin kalınlıkları ve TS 825'e göre hesap sonuçları tablolar da gösterilmiştir. Bu hesap sonuçlarına göre belirlenen izolasyon malzemesi kalınlıkları ve duvar kesitinde yer alan diğer bileşenlerin 1 m² duvar yüzeyi için birim maliyeti Poz

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Numaralarına bağlı olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2025 yılı birim fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 8'de gösterilmiştir

Çizelge 8. Dış Duvar Kesitinin 1 m2'lik Alanında Bulunan Malzemelerin Maliyeti

DIŞ DUVAR ŞIRNAK CİZRE İÇİN 1 m² MALİYET HESABI				
POZ NO	**YAPI BİLEŞENİ**	**KALINLIK (m)**	**BİRİM FİYAT (TL)**	**1m² MALİYET**
15.275.1112	İÇ SIVA	0,02	535,60	535,60
15.220.1015	YATAY DELİKLİ TUĞLA	0,19	763,43	763,43
15.341.1002	ISI YALITIM FOAMBOARD (Yapıştırma Harcı Dahil)	0,12	887,99	818,43
15.275.1111	YÜZEY SIVASI	0,003	601,88	601,88
			TOPLAM	=2.719,34

4. ANALİZ ve DEĞERLENDİRMELER

4.1. İstatistiksel Karşılaştırmalar

4.1.1. Horasan ve Cizre için dış duvar ısıl geçirgenlik dirençlerinin "R" karşılaştırılması

Horasan ve Cizre için incelenen her iki dış duvar kesitinin Isıl geçirgenlik dirençlerinin "R değerlerinin" tanımlayıcı istatistiksel değerleri ve her ikisi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığı %95 güven aralığında "bağımsız örneklem T testi" ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları aşağıda ki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 9. Dış Duvar İçin Isıl Geçirgenlik Dirençleri "R" ler İçin Tanımlayıcı İstatistikler

	Gruplar	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Isıl geçirgenlik dirençleri "R" Değerleri	Horasan	4	,16775	,241620	,120810
	Cizre	4	,89100	1,692393	,846196

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Horasan ve Cizre için hesaplanan Isıl geçirgenlik dirençleri "R" lerin ortalamalarına bakıldığında Cizre için hesaplanan "**R" değerinin %81,17** oranında daha fazla olduğu görülmüştür.

Çizelge 10. Dış Duvar Isıl Geçirgenlik Dirençleri İçin Bağımsız Örneklem t Testi Sonuçları

Horasan ve Cizre İçin Dış Duvar Isıl geçirgenlik dirençleri "R"	**Levene's Test for Equality of Variances**		**t-test for Equality of Means**						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	6,487	,044	-,846	6	,430	-,723250	,854777	-2,814813	1,368313
Equal variances not assumed			-,846	3,122	,457	-,723250	,854777	-3,384259	1,937759

Horasan ve Cizre için dış duvarda hesaplanan Isıl geçirgenlik dirençlerinin "R değerlerinin" arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olmadığı (Sig. 0,43) görülmüştür.

4.1.2. Horasan ve Cizre İçin Dış Duvar İzolasyon Maliyetlerinin Karşılaştırılması

Horasan ve Cizre için incelenen her iki döşeme kesitinin maliyetlerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri ve her ikisi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığı %95 güven aralığında "bağımsız örneklem T testi" ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları aşağıda ki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 11. Dış Duvar Kesiti İzolasyon Maliyetleri İçin Tanımlayıcı İstatistikler

	Gruplar	**N**	**Mean**	**Std. Deviation**	**Std. Error Mean**
Maliyetler	Horasan	4	697,2250	159,15160	79,57580
	Cizre	4	679,8350	133,01305	66,50653

Horasan ve Cizre için hesaplanan dış duvar maliyetlerinin ortalamalarına bakıldığında Cizre için hesaplanan maliyetin %2,49 oranında daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 12. Dış Duvar Kesiti Isıl Geçirgenlik Dirençleri İçin Bağımsız Örneklem t Testi Sonuçları

Horasan ve Cizre İçin Döşeme Kesitinin	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					
	F	Sig.	t	df	Sig.	Mean		95% Confidence Interval

Maliyetler i					(2-tailed)	Difference	Std. Error Difference	of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	,266	,625	,168	6	,872	17,39000	103,70837	-236,37524	271,15524
Equal variances not assumed			,168	5,817	,873	17,39000	103,70837	-238,32616	273,10616

Horasan ve Cizre için dış duvar maliyetleri arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olmadığı (Sig. 0,872) görülmüştür.

4.2. Değerlendirmeler

Bu çalışma kapsamında, Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde yer alan Erzurum ve Şırnak kentleri seçilmiş ve aynı dış duvar kesiti üzerinden ısı kayıp ve kazançları, yalıtım performansı, ısı geçiş grafikleri, tabakalar arasındaki sıcaklık değişimleri ve maliyetleri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Aynı duvar modeli, değişen iklimsel veriler nedeniyle farklı performans sonuçları ortaya çıkarmıştır. Bu durum, Türkiye'nin ısıtma ve soğutma gereksinimlerinin bölgesel farklılığını açık bir biçimde ortaya koymaktadır.

Erzurum, 6. Isı Bölgesi içerisinde yer almakta ve dış tasarım sıcaklığı –32,6 **°C**'ye kadar düşmektedir. Bu nedenle ısı kaybı oldukça yüksektir ve bu kayıpları sınırlamak amacıyla U değerinin 0.25 W/m²K altında olması gerekmektedir. Yapılan hesaplamalar neticesinde 12 cm kalınlığındaki ısı yalıtımı, U değerini 0.247 W/m²K seviyesine düşürmüş ve TS 825 standardının koşullarını başarıyla karşılamıştır. Böylece, ısı kaybı q=13 W/m² olarak belirlenmiştir.

Cizre ise 2. Isı Bölgesi içerisinde yer almakta olup yaz aylarında 49,4 °C'ye ulaşan dış ortam sıcaklığı nedeniyle soğutma yükü belirleyici faktördür. Burada U ≤ 0.40 W/m²K gereksinimi dikkate alınmış ve 7 cm yalıtım kalınlığı ile U= 0.38 W/m²K elde edilmiştir. Bu durumda ısı akışı dışarıdan içeriye doğru gerçekleşmekte olup q= −11.17 W/m² olarak bulunmuştur. Buradaki eksi işaret, ısının iç mekâna kazanç yönlü olduğunu göstermektedir. Bu iki farklı iklim bölgesi üzerinden yapılan karşılaştırma, yalıtım gereksinimlerinin sadece soğuk iklimlerde değil, sıcak iklimlerde de önemli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle yaz aylarında iç mekân konforunun sağlanması ve iklimlendirme enerji giderlerinin düşürülmesi, Cizre gibi sıcak bölgelerde yalıtımı kritik bir çözüm haline getirmektedir. Bu durum, yalıtımın sadece kışın ısıtma için değil, yazın serinletme için de zorunlu bir bina bileşeni olduğunu göstermektedir (Yılmaz ve diğerleri, 2020). Sıcaklık dağılımı analizleri dış duvar kesiti için Erzurum da yoğuşma noktası oluştuğunu ve bu noktanın duvar dışından içeri doğru 14,47 cm mesafede oluştuğu ve 12 cm kalınlıkta olan ısı izolasyon malzemesinin de 8,47 cm içinde kaldığı tespit edilmiştir. Buna karşın Cizre de ise iç ortam sıcaklığı ve dış ortam sıcaklığının pozitif değerler olması nedeni ile dış duvar kesitinde bir yoğuşma olmadığı tespit edilmiştir. Bu önemli bir bulgudur; çünkü yoğuşma → küf → malzeme ömründe azalma → sağlık riskleri

zinciri özellikle ülkemizdeki geleneksel yapı stokunda ciddi hasarların temel nedenlerinden biridir (TS 825, 2013). Bu çalışmada kullanılan duvar katman dizilimi yoğuşmaya izin vermeden, iç mekân yüzey sıcaklıklarını konfor bölgesinde tutmayı başarmıştır.

Çalışmaya ek olarak yapılan 2025 ön maliyet analizleri, yalıtım kalınlığının artmasının dış duvar m² maliyetini artırdığını, ancak toplam enerji tüketiminde sağladığı tasarruf sayesinde işletme giderlerini düşürdüğünü ortaya koymuştur. Bu bağlamda gerçek sürdürülebilirlik, sadece ilk yatırım maliyetlerinin azaltılmasından geçmemekte, enerji verimliliği – çevresel performans – uzun dönem ekonomik kazanç dengesinin kurulmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla, farklı iklim bölgelerinde tek tip dış duvar tasarımı enerji verimliliği açısından uygun değildir. Yapı kabuğu tasarımının, bölgesel iklimsel veriler ve enerji gereksinimleri temel alınarak optimize edilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Analiz sonuçları, her bölgenin iklimsel gereksinimlerinin dikkate alınarak bina kabuğunun tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Tek tip duvar tasarımlarının tüm bölgelerde uygulanması, enerji verimliliğini azaltmakta ve gereksiz enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu nedenle projelendirme sürecinde iklim verilerine dayalı optimum yalıtım kalınlığı belirlenmeli, yapı kabuğu tasarımı bölgesel koşullara göre özelleştirilmelidir. Erzurum gibi soğuk bölgelerde yüksek ısı kayıplarının azaltılması; Cizre gibi sıcak bölgelerde ise soğutma yüklerinin düşürülmesi hedeflenmelidir. Ek olarak, güneş kontrol elemanları, açık renkli yüzey kaplamaları ve pasif iklimlendirme yöntemlerinin kullanımının özellikle sıcak bölgelerde dış duvar performansını desteklediği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma farklı iklim koşullarının bina ısıtma ve soğutma gereksinimleri üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koymuş ve yalıtım stratejilerinin bölgesel iklim koşulları dikkate alınarak belirlenmesi gerektiğini göstermiştir. Enerji verimli bina kabuğu tasarımı, yalnızca kullanıcı konforunu arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılması, karbon emisyonlarının düşürülmesi ve sürdürülebilir yapılaşma hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu bağlamda yalıtım uygulamalarının hem ekonomik hem de çevresel açıdan geleceğe yatırım olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- Altınışık, H. (2017). *Yapı fiziği ve yapı malzemesi*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Türk Standardları Enstitüsü. (2013). *TS 825 – Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları*. Ankara: TSE. *(Güncel uygulamalarda TS 825:2024 revizyonu dikkate alınmıştır.)*
- Altınbaş, K., & Polat, A. (2020). Farklı duvar bileşenlerinde ısıl performansın değerlendirilmesi. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 40(2), 101–112.
- Asdrubali, F., & Ozel, G. (2014). Thermal performance evaluation in buildings with different wall systems. *Energy and Buildings*, 72, 185–195.
- Ersoy, H., & Tankut, A. (2013). Dış duvarlarda yalıtım malzemelerinin U değerine etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 9(1), 45–53.

- Kadıoğlu, M., & Şensoy, S. (2020). Türkiye'de binalarda enerji tüketim verimliliği politikalarının değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1), 33–49.
- Yılmaz, S., & Özkul, M. (2019). Yalıtım kalınlığının bina enerji performansına etkisi. *Teknik Bilimler Dergisi*, 9(3), 215–230.
- Yılmaz, S., Uğur, M., & Demirtaş, M. (2020). İklimsel farklılıkların yalıtım gereksinimine etkisi. *Yapı ve Çevre Dergisi*, 15(4), 299–310.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025). *2025 yılı inşaat ve tesisat birim fiyatları*. https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/2025-yili-b-r-m-f-yatlari-20250117121853.pdf
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2025). *2025 ekstrem sıcaklık verileri*. https://mgm.gov.tr/
- İZODER – Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği. (2024). *TS 825:2024 U değerleri ve iklim bölgeleri bilgi notları*. https://izoder.org.tr/

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TÜRKİYE'NİN EN SICAK VE EN SOĞUK YERLEŞİM YERLERİNDEKİ ÇATI KATI DÖŞEME MODELLERİNİN TS 825'E GÖRE İNCELENMESİ VE MALİYET ANALİZLERİ

Mimar Tuğba DİLİMEL

Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı

mimartugbadilimel@gmail.com-ORCID ID 0009-0001-1698-4716

Mimar Zeynep ÇAKMAN

Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mimarlık Anabilimdalı

cakmanzeynep81@gmail.com- ORCID ID 0009-0007-6269-6380

Prof. Dr. Ercan ÖZGAN

Düzce Üniversitesi, Sanat Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü,

ercanozgan@duzce.edu.tr- ORCID ID 0000-0003-4531-6394

ÖZET

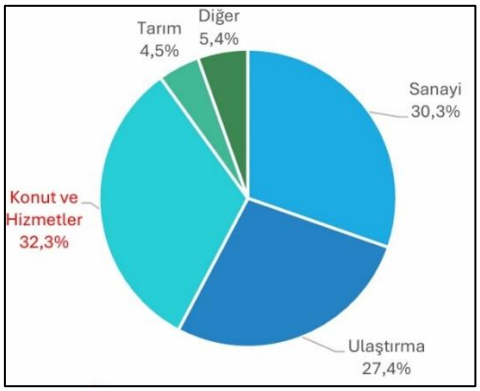
Bu çalışmada, 2025 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre Ülkemizde en sıcak ve en soğuk yerleşim yerlerinin sıcaklık verileri dikkate alınarak oluşturulan çatı katı döşeme modelinin iç mahal konfor sıcaklığını sağlayabilmesi için "TS 825 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardına" göre optimum izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmış, her bir kesit tabakasındaki ısı kayıpları hesaplanmış, bu verilere bağlı olarak çatı katı döşemesi için ısı geçiş grafikleri çizilmiş ve kesit üzerinde yoğuşma noktaları belirlenmiştir. Oluşturulan çatı katı döşeme kesitinin en soğuk ve en sıcak yerleşim yerlerinde yapılması durumunda izolasyon hesapları, ısı kayıpları ve ısı geçiş grafiklerindeki değişimler karşılaştırmalı olarak incelenmiş, aralarında fark olup olmadığı istatistiksel olarak karşılaştırmalı testlerle analiz edilmiştir. Yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda belirlenen optimum ısı yalıtım kalınlığı da dikkate alınarak çatı katı döşemesinin 1 m^2 alanı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Birim Fiyatlarına göre maliyet analizleri de yapılmış ve elde edilen tüm sonuçlar hem soğuk hem de sıcak yerleşim yeri için karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak 2025 yılı verilerine göre Ülkemizin en sıcak ve en soğuk yerleşim yerlerinin meteorolojik verilerine bağlı olarak yapılan analiz ve hesaplamalar sonucunda optimum çatı katı döşeme kesitleri ve izolasyon kalınlıkları tespit edilerek tasarım ve uygulama için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mimari tasarım, çatı katı döşemesi, izolasyon, TS 825, maliyet.

1. GİRİŞ

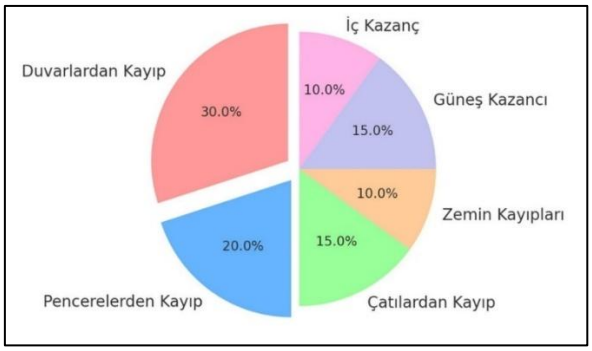
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Enerji kaynaklarının tükenmesi ve iklim değişiklikleri sorunlarının yaşanması, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de sürdürülebilirlik ve enerji verimliliğine katkı sağlayan mimari tasarım süreçlerini ön plana çıkarmaktadır. TÜİK ve Ticaret Bakanlığı tarafından oluşturulan geçici dış ticaret istatistiklerine göre Ülkemiz 2023 yılı enerji ithalatı 67,6 milyar USD ve nihai enerji tüketimi 121,4 TEP ile enerjide %68,9 oranında dışa bağımlıdır. Toplam enerji tüketiminin ise %32,3'lük oranla "Konut" ve "Hizmet" sektörlerinden oluşan "Bina" sektöründe tüketildiği Görsel 1'de görülmektedir. Bu veriler bize, mimari tasarımda, ısı yalıtımının önemini göstermektedir [1].



Görsel 1: Enerji Tüketimi Sektörel Dağılım 2023 [1]

Genel olarak, farklı sıcaklıktaki iki ortam arasında ısı geçişini azaltmak için yapılan işlemlere ısı yalıtımı denir [2]. Isının sıcak ortamdan soğuk ortama doğru transferi durdurulamaz fakat doğru yalıtım ile kontrol edilebilir. Kışın, iç mahaldeki ısı soğuk dış ortama doğru hareket ederken; yazın sıcak dış ortamdaki ısı daha soğuk olan iç mahale doğru hareket eder ve iç mahal konforu olumsuz etkilenir. Bunun için ısıtma ve havalandırma gibi enerjilere ihtiyaç duyulmaktadır. Unutulmamalı ki binalarımızı yazın soğutmak, kışın ısıtmaktan daha maliyetli olmaktadır [3]. Türkiye, dört mevsimin yaşandığı farklı iklim ve geniş aralıklı sıcaklık değerlerine sahip bir ülkedir. Bu sebeple mimari tasarım ve yapı fiziği açısından farklı iklim bölgelerinde, yapının farklı bölümlerinde, farklı yalıtım stratejilerinin kullanılması gerekmektedir. Isı yalıtımlı bir bina; dış cephesi, çatısı, bodrum katı, penceresi, kapısı, mekanik tesisatı ve varsa havalandırma sistemlerinin ısı yalıtımıyla bir bütündür [3]. Görsel 2'de görüldüğü gibi binalarda duvarlar ve pencerelerden sonra en fazla ısı kaybı/kazancı olan bölümler, tavan/çatı ve döşemelerdir [2].



Görsel 2: Binalarda Isı Kazanç/Kayıpları Dağılımı [4]

Isı yalıtım malzemelerinin seçiminde teknik hesaplamalar haricinde önemli bazı parametreler vardır. Örneğin hafiflik/ağırlık durumu, yoğunluğu, boyutu, kalınlığı ve maliyeti başlıca kriterler arasındadır. Yalıtım malzemesi bina için bir yüktür ve bu durum deprem davranışı açısından olumsuzdur. Bu nedenle binalarda kullanılan yalıtım malzemelerinin hafif olması beklenir. Ayrıca malzemenin kalınlığı yalıtım için iyi bir sonuç verse de artan kalınlık, yükü ve maliyeti de arttırır. Dolayısıyla optimum seçimler hedeflenmeli ve çeşitli hesaplama yöntemleriyle optimum yalıtım malzemesi kalınlığı hesaplanmalıdır [5]. Ülkemizde 1999 yılından bu yana ısı yalıtım adına önemli çalışmalar yapılmış ve yönetmeliklerle zorunlu hale getirilmiştir [6]. ‘’TS 825 Binalarda Isı yalıtımı Kuralları Standardı’’ Türkiye için binaların enerji tüketim miktarını sınırlayarak enerji tasarrufu sağlamayı hedeflemektedir. Son olarak Ekim 2024 tarihinde güncellenmiş olan ve 20 Şubat 2025’te resmî gazetede tebliğ edilen standart, 1 Nisan 2025 tarihinde binalar için zorunlu hale getirilmiştir. Bu standart; mimari tasarım sürecinde, farklı bölgelerde farklı yalıtım değerleri ve kalınlıklarının belirlenmesine yardımcı olur [3].

Bu çalışmada, Türkiye’nin 2025 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü güncel verilerine göre belirlenen en sıcak ve en soğuk yerleşim yerlerinde çatı katı döşemesi modelleri oluşturularak, TS 825 standardına göre optimum izolasyon kalınlıkları hesaplanmış, her çatı katı döşemesi kesiti için ısı geçiş grafikleri verilmiş ve kesit üzerinde yoğuşma noktası gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar maliyet analiziyle birlikte değerlendirilmiştir. Böylece, farklı iklim koşullarında çatı katı döşemeleri için hem performans hem de ekonomik açıdan optimum çözümlerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

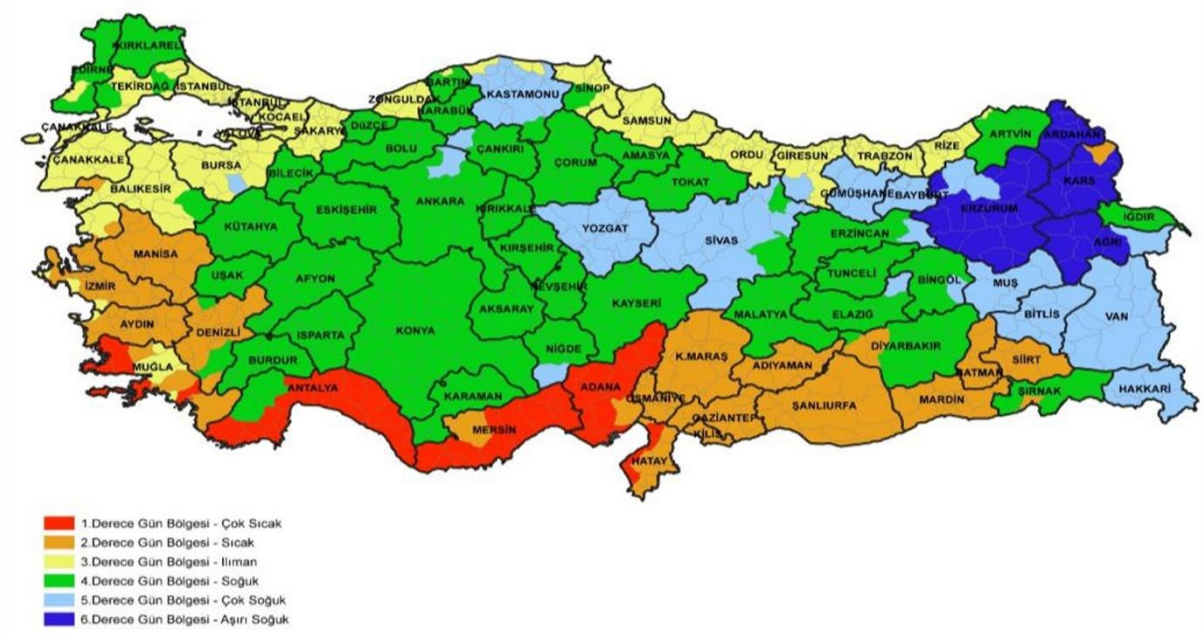
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada “TS 825:2024 Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları Standardına” göre 2025 yılı Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanarak en soğuk ve en sıcak yerleşim yerlerinde kullanılması önerilen optimum ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları hesaplanmış, yoğuşma ve maliyet analizleri yapılmıştır. Çalışmanın yöntemi 5 temel aşamadan oluşmuştur: 2025 Meteoroloji İklim verilerine bağlı olarak “U” değerleri, çatı katı döşeme kesiti, ısı geçiş miktarı hesaplamaları, yoğuşma grafiği ve maliyet analizi.

2.1. Meteorolojik Verilerin Belirlenmesi

Meteoroloji Genel Müdürlüğü sıcaklık ve yağış değerlendirmelerine göre 2025 yılında en düşük sıcaklık -32,6 °C ile şubat ayında Erzurum İli Horasan İlçesi’nde gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklık ise 49,4 °C ile haziran ayında Şırnak İline bağlı Cizre İlçesi’nde kaydedilmiştir. TS 825:2008 Standardında Türkiye İklim Bölgeleri haritası 4 bölgeden oluşurken TS 825:2024 Standardı ile revize edilmiş ve 6 bölgeye ayrılmıştır. 2024 Türkiye İklim Bölgeleri Haritasına göre en soğuk yerleşim yeri Horasan ‘’6. Derece Gün Bölgesi’’ nde, en sıcak yerleşim yeri Cizre ise ‘’2. Derece Gün Bölgesi’’ nde yer almaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 3: TS 825:2024 Türkiye İklim Bölgeleri Haritası [1]

Görsel 3'te verilen Türkiye İklim Bölgeleri Haritası' nda kullanılan ''derece gün bölgeleri'' baz alınarak U değeri seçilmektedir. U değeri, yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik katsayısıdır ve ısıl performans hesaplamasında bu değerden yararlanılarak izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmaktadır. TS 825:2024 Standardında bölgelere ve yapı bileşenine göre tavsiye edilen U Değerleri Görsel 4'te verilmiştir. Çatı katı döşemesi için "Döşeme Ut'' değerleri alınmalıdır.

TS 825: 2024	Duvar	Tavan/Çatı	Döşeme	Pencere	
	U_D (W/m²K)	U_T (W/m²K)	U_t (W/m²K)	U_P* (W/m²K)	g (-)
1. Bölge	0,45	0,35	0,4	1,8	≤ 0,45
2. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	≤ 0,45
3. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	≤ 0,45
4. Bölge	0,35	0,25	0,3	1,8	≥ 0,55
5. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	≥ 0,55
6. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	≥ 0,55

Görsel 4: TS 825:2024 Tavsiye Edilen U Değerleri [1]

Erzurum İli'nde bulunan Horasan İlçesi Türkiye İklim Bölgeleri Haritasına göre ''6. derece gün Bölgesi''ne girmektedir. Bu bilgiye dayanarak ''İzoder Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği-Erzurum iline ait TS 825 dosyası''nda verilen U değeri Görsel 5'te verilmiştir. Hesaplamada Görsel 5'te verilen 6. Bölgenin Döşeme U değeri 0,25 W/m^2.K kullanılacaktır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

İklim Bölgesi	Duvar U_D (W/m²K)	Tavan / Çatı U_T (W/m²K)	Döşeme U_t (W/m²K)	Pencere U_P (W/m²K)	g (-)
5-6	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55

İklim Bölgesi	Duvar U_D (W/m²K)	Tavan / Çatı U_T (W/m²K)	Döşeme U_t (W/m²K)	Pencere U_P (W/m²K)	g (-)
5-6	0,25	0,20	0,25	1,8	≥0,55

Görsel 5: İzoder TS 825:2024 Bilgi Notları Haritası, Erzurum U Değerleri [7]

Şırnak İli'nde bulunan Cizre İlçesi Türkiye İklim Bölgeleri Haritasına göre ''2. derece gün bölgesi''ne girmektedir. Bu bilgiye dayanarak ''İzoder Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği-Şırnak iline ait TS 825 dosyası''nda verilen U değeri aşağıda Görsel 6'da verilmiştir. Hesaplamada Görsel 6'da verilen 2. Bölgenin Döşeme U değeri 0,35 W/m^2.K kullanılacaktır.

İklim Bölgesi	Duvar U_D (W/m²K)	Tavan / Çatı U_T (W/m²K)	Döşeme U_t (W/m²K)	Pencere U_P (W/m²K)	g (-)
2	0,40	0,30	0,35	1,8	≤0,45
İklim Bölgesi 2'deki ilçeler: Cizre					
4	0,35	0,25	0,30	1,8	≥0,55
İklim Bölgesi 4'deki ilçeler: Şırnak Merkez					

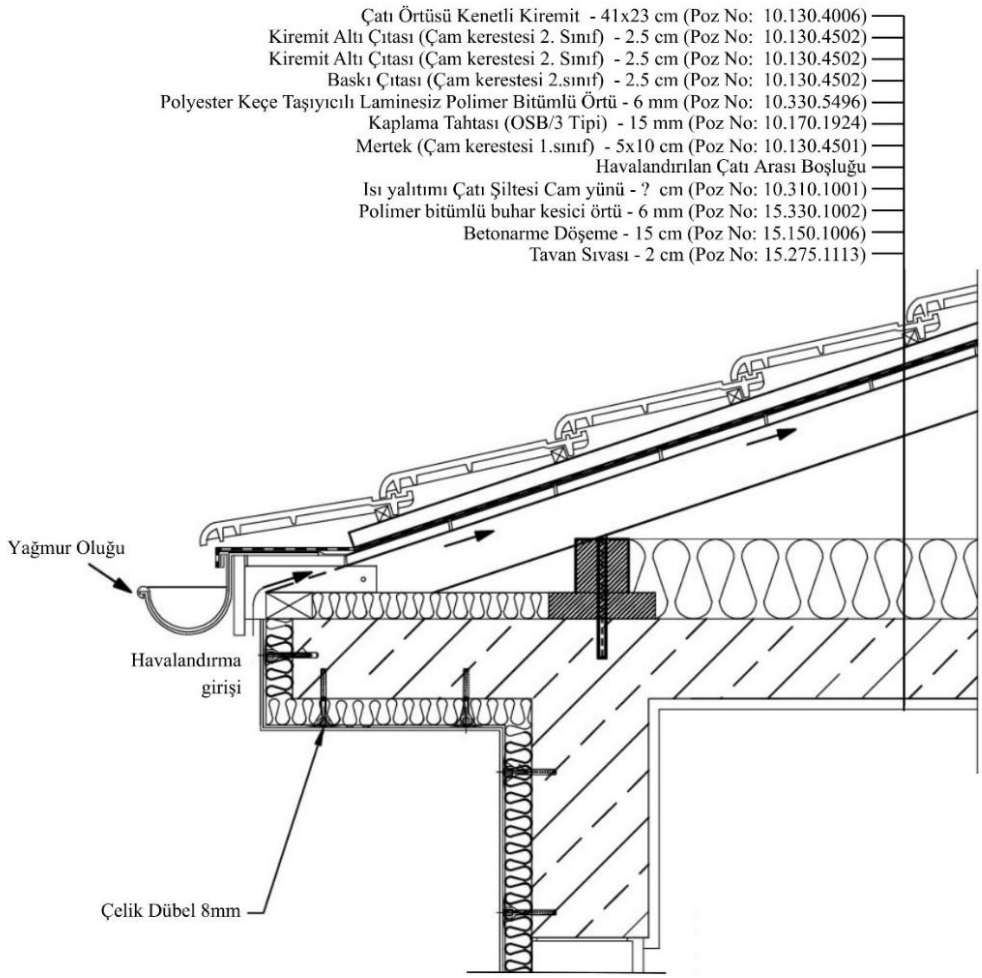
Görsel 6: İzoder TS 825:2024 Bilgi Notları Haritası, Şırnak U Değerleri [7]

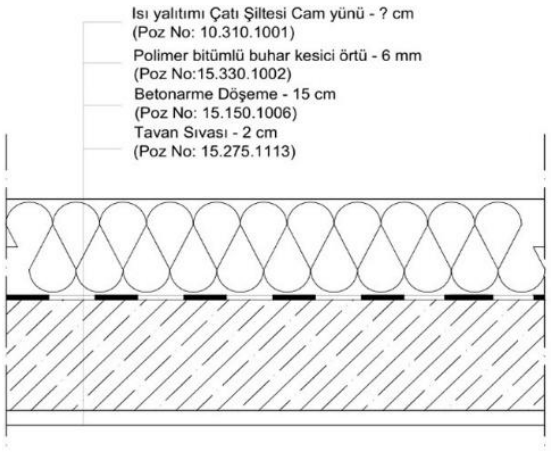
2.2. Çatı Katı Döşemesi Kesiti

Üzerinde çalışılacak çatı katı döşemesi kesiti Çizelge 1'de verilmiştir. Kesitte gösterilen yapı malzemeleri seçiminde, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı 2025 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları listesinden yararlanılmış olup malzemelerin poz numaraları belirtilmiştir. Çalışma sonunda poz numaraları verilen bu malzemelerin fiyatlarından yararlanarak çatı katı döşemesinin 1 metrekaresi için maliyet analizi yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 1: Çatı Katı Döşemesi Kesiti [8]



İÇ MAHAL İLE HAVALANDIRILAN ÇATI BOŞLUĞU ARASINDA BULUNAN YAPI BİLEŞENLERİ	
4.Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü- **?** cm (Poz No: 10.310.1001)	
3.Polimer bitümlü buhar kesici örtü-6 mm (Poz No: 15.330.1002)	
2.Betonarme Döşeme-15 cm (Poz No: 15.150.1006)	
1.Tavan Sıvası-2 cm (Poz No:15.275.1113)	

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3. UYGULAMA

TS 825 hesap esasları dikkate alınarak 2025 yılında Ülkemizde en soğuk yer olarak kayıtlara geçen Erzurum İli Horasan ilçesinde yapılması planlanan yapının çatı katı döşeme kesitinde yer alan yapı malzemelerinin kalınlıklarına göre çatı katı döşeme izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanmıştır.

3.1. 2025 Yılı ‘’En Soğuk” Yerleşim Yeri Horasan İçin TS 825’e Göre İzolasyon Hesabı

3.1.1. Çatı Katı Döşemesi İzolasyon Malzemesi Kalınlığının Hesaplanması

3.1.1.1. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması

Çatı katı döşeme kesitinde yer alan yapı bileşenlerinin isimleri, kalınlıkları, ısıl iletkenlik değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan Isıl Geçirgenlik Direnci hesap sonuçları Çizelge 2’ de gösterilmiştir. Çizelgede bilinmeyen değer olarak izolasyon malzemesinin kalınlığı “A” ile sembolize edilmiş ve hesaplar tablodaki verilere ve derece gün bölgesi verilerine göre yapılmıştır.

Çizelge 2. Isıl Geçirgenlik Direncinin (R) Hesaplanması [9]

Çatı Katı Döşemesi Uygulamasında Kullanılan Yapı Bileşenleri	Yapı Bileşenleri Kalınlığı- d (m)	Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)	Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ (m²K/W)
"a(d)" Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (Dış ortam)	---	---	0,08
4.Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü	d4 = A	λ4 = 0,035	R4 = ?
3.Polimer bitümlü buhar kesici örtü	d3 = 0,006	λ3 = 0,19	R3 = 0,03
2.Betonarme Döşeme	d2 = 0,15	λ2 = 2,5	R2 = 0,06
1.Tavan Sıvası	d1 = 0,02	λ1 = 1	R1 = 0,02
"a(i) " İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (İç Ortam)	---	---	0,13

Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısıl geçirgenlik direnci (R), tek tek yapı elemanı kalınlıkları (d1, d2, ..., dn) ve bu yapı elemanlarının, ısıl iletkenlik hesap değerleri (λ1 , λ2 ... λn) kullanılarak denklem 1 ile hesaplanır.

$$\boldsymbol{R = \frac{d1}{\lambda 1} + \frac{d2}{\lambda 2} + \frac{d3}{\lambda 3} + \cdots + \frac{dn}{\lambda n}} \qquad \textbf{Denklem 1}$$

R : Isıl geçirgenlik direnci (m^2.K/W),
d : Yapı bileşeninin kalınlığı (m),
λ : Isıl iletkenlik hesap değeri (W/m.K)’dir.

3.1.1.2 Toplam Isıl Geçirgenlik Direncinin (1/U) Hesaplanması

Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (1/U), yapı bileşenlerinin ısıl geçirgenlik dirençlerine (R) yüzeysel ısıl iletim direnci değerleri (Ri, Re) eklenerek denklem 2 ile hesaplanır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$\frac{1}{U} = Ri + (R1 + R2 + R3 + R4) + Re$$ **Denklem 2**

1/ U: Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik direnci (m^2.K/W),
Ri : İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m^2.K/W),
Re : Dış yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (m^2.K/W)'dir.

Not: Re ve Ri ifadeleri, çatı katı döşemelerinde sırasıyla a(dış) ve a(iç) olarak gösterilir. Bu nedenle hesaplamalarımızda bu bölümden sonra ısıl geçirgenlik dirençleri ''ad'' ve ''ai'' ifadeleri ile sembollenecektir.

Not: Yapı bileşenlerinin ısıl iletkenlik hesap değeri (λ) değerleri, İzoder TS 825 Hesap Programı'nda bulunan ''Ek E- Yapı malzeme ve bileşenlerinin birim hacim kütlesi, ısıl iletkenlik hesap değeri (λ) ve su buharı difüzyon direnç faktörü (m)'' çizelgesinden alınmıştır. Yapı elemanlarının iç ve dış yüzeylerindeki yüzeysel ısıl iletim direnç değerleri (R) için ise, Görsel 7'de verilen 6 sıra no'lu bileşen tipinin Ri ve Re değerleri kullanılmıştır.

Sıra no	Yapı bileşeni tipi[3]	Yüzeysel ısıl iletim direnci [1) 2)]	
		R_i (m^2K / W)	R_e (m^2K / W)
1	Dış duvar (Sıra no 2 'de verilenin dışındaki dış duvarlar)	0,13	0,04
2	Arkadan havalandırılan giydirme cepheli[4] dış duvarlar, ısı yalıtımı yapılmayan tavan arasını ayıran alçak duvarlar		0,08
3	Daireler arasındaki ayırıcı duvarlar, merdiven duvarı, farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran duvarlar, sürekli olarak ısıtılmayan mekânlara bitişik bölme duvarı, ısı yalıtımlı tavan arasına bitişik alçak duvar		5)
4	Toprak temaslı dış duvar		0
5	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan yatay veya eğimli, yukarıda yer alan (havalandırılmayan çatı) tavan veya çatı	0,13	0,04
6	Kullanılmayan bir tavan arası veya havalandırılan bir mekân altındaki tavan (havalandırılan çatı kabuğu)		0,08
7	Daireler arası ayırıcı taban veya farklı kullanım amaçlı çalışma odalarını ayıran taban		
7.1	Aşağıdan yukarıya ısı akışı olması hâlinde	0,13	5)
7.2	Yukarıdan aşağıya ısı akışı olması hâlinde	0,17	
8	Bodrum tavanı	0,17	5)
9	Bir yaşama mekânının dış hava ile sınırını oluşturan çıkma tabanları		0,04
10	Altında bodrum olmayan bir yaşama mekânının zemine oturan tabanı		0

Görsel 7: Hesaplanmış yüzeysel ısıl iletim (taşınım) direnç değerleri [9]

Her yapı bileşeninin ısıl geçirgenlik direnci değerini toplayarak toplam ısıl geçirgenlik direnci yani 1/U 'yu buluruz.

$$\frac{1}{U} = 0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}06 + 0{,}03 + \left(\frac{d4}{0{,}035}\right) + 0{,}08$$

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Bu denklemde U değeri birazdan hesaplanarak yerine koyulacaktır. Bu durumda tek bilinmeyen değer ısı izolasyon malzemesi kalınlığı olduğundan sonuca ulaşılabilecektir.

3.1.1.3. Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısının (U) Hesaplanması

U değeri, çatı, duvar, döşeme, pencere gibi yapı bileşenlerinin ne kadar ısı geçirdiğini ifade eder. U değeri arttıkça yapı bileşeninden geçen ısı miktarı da artar. U değeri düştükçe yapı bileşeninin ısı yalıtım performansı o kadar iyi olmaktadır. Bir yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (U), denklem 2'deki formülün aritmetik tersi alınarak denklem 3'e göre hesaplanır.

$$\boldsymbol{U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}}$$ **Denklem 3**

6. Bölgede 2024 yılı TS 825 Standardına göre döşemeler için U değeri 0,25 verilmiştir. U değeri de bilindiğine göre R4 değeri üzerinden ısı izolasyon malzemesinin kalınlığı "d4" bulunacaktır.

Çizelge 3. Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Hesabı- d4 [9]

TOPLAM ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISININ (U) HESAPLANMASI
$\boldsymbol{U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}}$
$0{,}25 = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}06 + 0{,}03 + \mathrm{R4} + 0{,}08}$
$0{,}25 = \frac{1}{0{,}32 + \mathrm{R4}}$ Bu ifadeden **d4 = 0,1288** bulunur. d4 = 0,1288 olamayacağından **13 cm alınacaktır**. Buna göre yeni R4 = 3,71 alınacaktır

3.1.2. Yapı Bileşeninden Geçen Isı Kaybı Hesabı

Kararlı durumdaki bir ısı akış yoğunluğu (q), denklem 4'e göre hesaplanır.

$$\boldsymbol{q = U\,.\,(Qi - Qe)}$$ **Denklem 4**

q : Isı akış yoğunluğu (W/m^2),
Qi: İç ortam sıcaklığı (°C),
Qe: Dış ortam sıcaklığı (°C),
U: Yapı bileşeninin toplam ısıl geçirgenlik katsayısı (W/m^2.K)' dır.

Hesaplamada, iç ortam sıcaklığı konutlar için konfor sıcaklığı kabul edilen 20 °C, dış ortam sıcaklığı 2025 yılı en soğuk yerleşim yeri Horasan için -32,6 °C alınacaktır. Horasan 6. Bölge döşeme U değeri 0,25'dir. Bu durumda;

$$\boldsymbol{q = U\,.\,(Qi - Qe)}$$

$$\boldsymbol{q = 0{,}25\,.\,(20 - (-32.6)}$$

$\boldsymbol{q = 13{,}15}$ bulunur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 4. Tüm Yapı Elemanının 1 m²'lik Alanından Geçecek Toplam Isı Geçiş Miktarının Hesaplanması [9]

1) Tavana Dokunulduğunda Hissedilen Sıva Yüzey Sıcaklık (T1) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
'a(i) " İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (İç Ortam)	---	---	0,13
İç Ortam Sıcaklığı = Ti = 20 °C 'dir.			
$\frac{q}{\alpha i} = Ti - T1$	$\alpha i = \frac{1}{ai} = \frac{1}{0,13} = 7,69$	$\frac{13,15}{7,69} = 20\ °C - T1$	1,71 = 20 - T1 **T1 = 18,29 °C bulunur.**

2) Tavan Sıvasının Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık (T2) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
1.Tavan Sıvası	d1 = 0,02	λ1 = 1	R1 = 0,02
Sıva Yüzey Sıcaklığı = T1 = 18,29 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 1}{d1}(T1 - T2)$	$13,15 = \frac{1}{0,02}(18,29 - T2)$	$0,26 = 18,29 - T2$	T2 = 18,29 - 0,26 **T2 = 18,03 °C bulunur.**

3) Betonarme Döşemenin Bittiği Buhar Kesici Örtünün Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T3) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
2.Betonarme Döşeme	d2 = 0,15	λ2 = 2,5	R2 = 0,06
Tavan Sıvasının Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T2 = 18,03 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 2}{d2}(T2 - T3)$	$13,15 = \frac{2,5}{0,15}(18,03 - T3)$	$0,79 = 18,03 - T3$	T3 = 18,03 - 0,79 **T3 = 17,24 °C bulunur.**

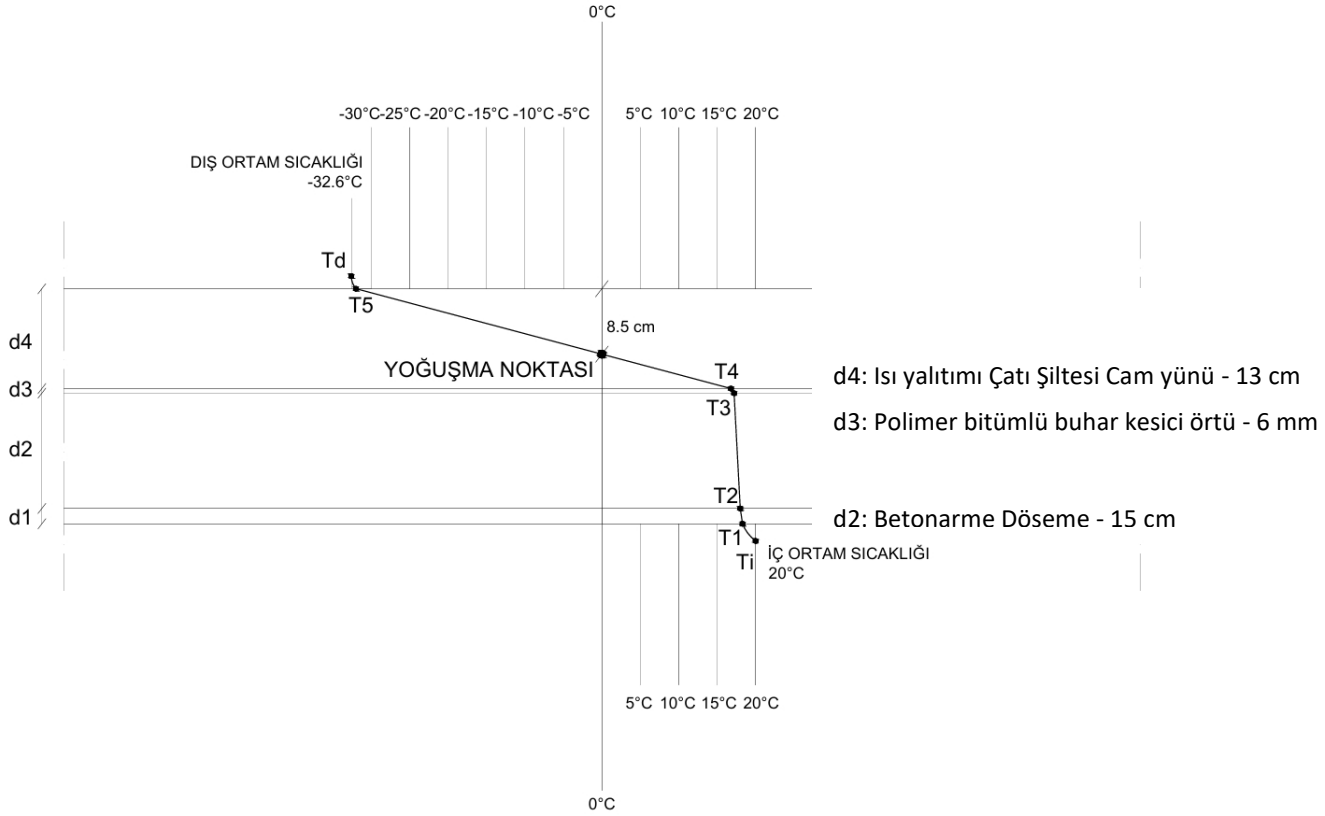
4) Buhar Kesici Örtünün Bittiği Isı Yalıtımın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T4) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
3.Polimer bitümlü buhar kesici örtü	d3 = 0,006	λ3 = 0,19	R3 = 0,03
Betonarme Döşemenin Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T3 = 17,24 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 3}{d3}(T3 - T4)$	$13,15 = \frac{0,19}{0,006}(17,24 - T4)$	$0,39 = 17,24 - T4$	T4 = 17,24 - 0,39 **T4 = 16,85 °C bulunur.**

5) Isı Yalıtımın Bittiği Çatı Arası Boşluğunun Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T5) Hesabı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri		**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
4.Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü		d4 = 0,13	λ4 = 0,035	R4 = 3,71
Buhar Kesici Örtünün Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T4 = 16,85 °C 'ydi.				
$q = \frac{\lambda 4}{d4}(T4 - T5)$	$13{,}15 = \frac{0{,}035}{0{,}13}(16{,}85 - T5)$	$48{,}7 = 16{,}85 - T5$		T5 = 16,85 - 48,7 **T5 = -31,85 °C bulunur.**
6) Isı Yalıtım Yüzeyinden Çatı Arası Boşluk Geçiş Çizelgesindeki Sıcaklık Hesabı:				
-31,85 - (- 32,6) = **0,75 °C Fark var.**				

Horasan'da yapılması planlanan yapının çatı döşemesindeki hesap sonuçları Çizelge 4'te gösterilmiş ve bu sonuçlara göre çatı döşemesindeki ısı geçiş grafiği Görsel 8'de gösterilmiştir.



Görsel 8. Döşeme Kesiti Yoğuşma Grafiği Çizimi

Yukarıdaki çatı katı döşemesi grafiğine göre; yoğuşma dış yüzeyden 8,5 cm aşağıda, ısı izolasyon malzemesi içerisinde olmaktadır.

3.1.3. En Soğuk Yerleşim Yeri Olan Horasan'da Çatı Döşemesinin 1m² Maliyet Hesabı

Çatı katı döşemesi kesitinde yer alan bileşenlerin kalınlıkları ve TS 825'e göre hesap sonuçları tablolarda gösterilmiştir. Bu hesap sonuçlarına göre belirlenen izolasyon malzemesi kalınlıkları

ve döşeme kesitinde yer alan diğer bileşenlerin 1 m^2 döşeme için birim maliyeti Poz Numaralarına bağlı olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2025 yılı birim fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Çatı Katı Döşeme Kesitinin 1 m^2'lik Alanında Bulunan Malzemelerin Maliyeti [8]

ÇATI KATI DÖŞEMESİ HORASAN İÇİN 1 m² MALİYET HESABI				
POZ NO	**YAPI BİLEŞENİ**	**KALINLIK (m)**	**BİRİM FİYAT (TL)**	**1m² MALİYET**
10.310.1001	Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü	0,13	1.100,00	143 TL
15.330.1002	Polimer bitümlü buhar kesici örtü	0,006	204,06	1,22 TL
15.150.1006	Betonarme döşeme	0,15	3.276,28	491,44 TL
15.275.1113	Tavan Sıvası	0,02	560,69	11,21 TL
			TOPLAM	**646,87 TL**

3.2. 2025 Yılı ''En Sıcak" Yerleşim Yeri Cizre İçin TS 825'e Göre İzolasyon Hesabı

3.2.1. Çatı Katı Döşemesi İzolasyon Malzemesi Kalınlığının Hesaplanması

En soğuk ve en sıcak yerleşim yerlerinde ısı izolasyon malzemesi kalınlığı hesaplanırken tekrar hesaplanması gereken farklı değerler şunlardır; Yerleşim yerinin dış ortam sıcaklığı ''Qe'' değeri ve dolayısıyla Türkiye İklim Bölgeleri Haritasına göre kaçıncı derece gün bölgesinde olduğuna bağlı olan ''U'' değeri değişmektedir.

Isı yalıtım malzemesi dışında diğer yapı bileşenlerinin kalınlıkları (d) ve ısıl iletkenlik hesap değerleri (λ) değişmeyeceğinden, ısıl geçirgenlik dirençleri de (R) değişmemektedir.

Çizelge 6. Isı Yalıtım Malzemesi Kalınlığının Hesabı-d4 [9]

TOPLAM ISIL GEÇİRGENLİK KATSAYISININ (U) HESAPLANMASI
$\boldsymbol{U = \frac{1}{ai + (R1 + R2 + R3 + R4) + ad}}$
$0{,}35 = \frac{1}{0{,}13 + 0{,}02 + 0{,}06 + 0{,}03 + R4 + 0{,}08}$
$0{,}35 = \frac{1}{0{,}32+R4}$ Bu ifadeden **d4 = 0,88 bulunur**. d4 = 0,88 olamayacağından **9 cm alınacaktır**. Buna göre yeni R4 = 2,57 alınacaktır.

3.2.2. Yapı Bileşeninden Geçen Isı Kaybı Hesabı

Hesaplamada, iç ortam sıcaklığı konutlar için konfor sıcaklığı kabul edilen 20 °C, dış ortam sıcaklığı 2025 yılı en sıcak yerleşim yeri Cizre için 49,4°C alınacaktır. Cizre 2. Bölge çatı katı döşemesi U değeri 0,35'tir. Bu durumda;

$\boldsymbol{q = U\,.\,(Qi - Qe)}$ Ve buradan $\boldsymbol{q = 0,35\,.\,(20 - (49.4)}$ **ve** $\boldsymbol{q = -10,29}$ bulunur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 7. Tüm Yapı Elemanının 1 m2'lik Alanından Geçecek Toplam Isı Geçiş Miktarının Hesaplanması [9]

1) Tavana Dokunulduğunda Hissedilen Sıva Yüzey Sıcaklık (T1) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
'a(i) " İç yüzeyin yüzeysel ısıl iletim direnci (İç Ortam)	---	---	0,13
İç Ortam Sıcaklığı = Ti = 20 °C 'dir.			
$\frac{q}{\alpha i} = Ti - T1$	$\alpha i = \frac{1}{ai} = \frac{1}{0,13} = 7,69$	$\frac{-10,29}{7,69} = 20\ °C - T1$	-1,33 = 20 - T1 **T1 = 21,33 °C bulunur.**

2) Tavan Sıvasının Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık (T2) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
1.Tavan Sıvası	d1 = 0,02	λ1 = 1	R1 = 0,02
Sıva Yüzey Sıcaklığı = T1 = 21,33 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 1}{d1}(T1 - T2)$	$-10,29 = \frac{1}{0,02}(21,33 - T2)$	-0,20 = 21,33 − T2	T2 = 21,33 + 0,20 **T2 = 21,53 °C bulunur**.

3) Betonarme Döşemenin Bittiği Buhar Kesici Örtünün Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T3) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
2.Betonarme Döşeme	d2 = 0,15	λ2 = 2,5	R2 = 0,06
Tavan Sıvasının Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T2 = 21,53 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 2}{d2}(T2 - T3)$	$-10,29 = \frac{2,5}{0,15}(21,53 - T3)$	-0,61 = 21,53 − T3	T3 = 21,53 + 0,61 **T3 = 22,14 °C bulunur**.

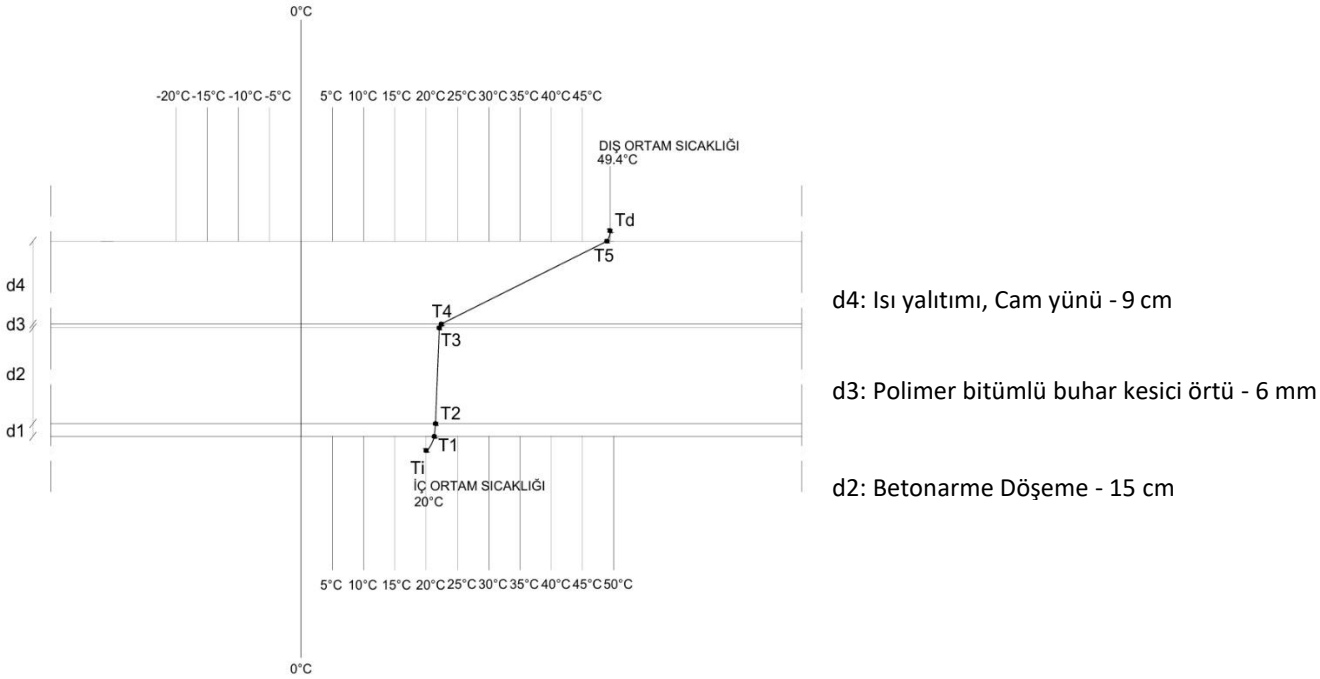
4) Buhar Kesici Örtünün Bittiği Isı Yalıtımın Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T4) Hesabı			
Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri	**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
3.Polimer bitümlü buhar kesici örtü	d3 = 0,006	λ3 = 0,19	R3 = 0,03
Betonarme Döşemenin Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T3 = 22,14 °C 'ydi.			
$q = \frac{\lambda 3}{d3}(T3 - T4)$	$-10,29 = \frac{0,19}{0,006}(22,14 - T4)$	-0,30 = 22,14 − T4	T4 = 22,14 + 0,30 **T4 = 22,44 °C bulunur**.

5) Isı Yalıtımın Bittiği Çatı Arası Boşluğunun Başladığı Ara Çizgideki Sıcaklık (T5) Hesabı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çatı Katı Döşemesinde Kullanılan Yapı Bileşenleri		**Yapı Bileşenleri Kalınlığı d (m)**	**Isıl İletkenlik Hesap Değeri λ (w/mK)**	**Isıl Geçirgenlik Direnci R = d / λ**
4.Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü		d4 = 0,09	λ4 = 0,035	R4 = 2,57
Buhar Kesici Örtünün Bittiği Ara Çizgideki Sıcaklık = T4 = 22,44 °C 'Ydi.				
$q = \frac{\lambda 4}{d4}(T4 - T5)$	$-10,29 = \frac{0,035}{0,09}(22,44 - T5)$	$-26,44 = 22,44 - T5$	T5 = 22,44 + 26,44 **T5 = 48,88 °C bulunur**.	
6) Isı Yalıtım Yüzeyinden Çatı Arası Boşluk Geçiş Çizelgesindeki Sıcaklık Hesabı:				
49,4 - (48,8) = 0,6 °C Fark var.				

Cizre'de yapılması planlanan yapının çatı katı döşeme hesap sonuçları Çizelge 7'de gösterilmiş ve bu sonuçlara göre çatı katı döşeme ısı geçiş grafiği Görsel 9'da gösterilmiştir.



Görsel 9. Çatı Katı Döşeme Isı Geçiş Grafiği

Yukarıdaki Görsel 9'da verilen çatı katı döşemesi grafiğinin amacı, yapıyı oluşturan d1, d2, d3 ve d4 katmanlarının ısı yalıtımına ne kadar katkıda bulunduğunu ve bu yüksek dış sıcaklıkta iç ortam sıcaklığının korunma başarısını görselleştirmektir. Özellikle eğimin en dik olduğu katman, en yüksek yalıtım direncine sahip olan ve dolayısıyla ısı kaybını/kazancını en çok engelleyen katmandır.

3.2.3. En Sıcak Yerleşim Yerinde Çatı Döşemesinin 1m² Maliyet Hesabı

Çatı katı döşeme kesitinde yer alan bileşenlerin kalınlıkları ve TS 825'e göre hesap sonuçları tablolarda gösterilmiştir. Bu hesap sonuçlarına göre belirlenen izolasyon malzemesi kalınlıkları ve döşeme kesitinde yer alan diğer bileşenlerin 1 m^2 döşeme alanı için birim maliyeti Poz Numaralarına bağlı olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 2025 yılı birim fiyatlarına göre hesaplanmış ve Çizelge 8'de gösterilmiştir

Çizelge 8. Çatı Katı Döşeme Kesitinin 1 m2'lik Alanında Bulunan Malzemelerin Maliyeti [8]

ÇATI KATI DÖŞEMESİ CİZRE İÇİN 1 m² MALİYET HESABI				
POZ NO	**YAPI BİLEŞENİ**	**KALINLIK (m)**	**BİRİM FİYAT (TL)**	**1m² MALİYET**
10.310.1001	Isı yalıtımı Çatı Şiltesi Cam yünü	0,09	1.100,00	99 TL
15.330.1002	Polimer bitümlü buhar kesici örtü	0,006	204,06	1,22 TL
15.150.1006	Betonarme döşeme	0,15	3.276,28	491,44 TL
15.275.1113	Tavan Sıvası	0,02	560,69	11,21 TL
			TOPLAM	**602,87 TL**

4. ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

4.1. İklim Bölgeleri ve Optimum Isı İzolasyon Malzemesi Kalınlıkları

Bu çalışma farklı iklim koşullarının bina ısıtma ve soğutma gereksinimleri üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koymuş ve yalıtım stratejilerinin bölgesel iklim koşulları dikkate alınarak belirlenmesi gerektiğini göstermiştir. Enerji verimli bina kabuğu tasarımı, yalnızca kullanıcı konforunu arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılması, karbon emisyonlarının düşürülmesi ve sürdürülebilir yapılaşma hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu bağlamda yalıtım uygulamalarının hem ekonomik hem de çevresel açıdan geleceğe yatırım olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma sonucunda iki farklı iklim bölgesi için optimum ısı yalıtım malzemesi kalınlıkları belirlenmiştir.

- En soğuk yerleşim yeri **Horasan** ilçesi için (6. Bölge) U değeri **0,25 W/m^2.K**'dir ve yalıtım kalınlığı (d4) **13 cm** hesaplanmıştır.
- En sıcak yerleşim yeri **Cizre** ilçesi (2. Bölge) U değeri **0,35 W/m^2.K'dir** ve yalıtım kalınlığı (d4) **9 cm** hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarda; TS 825:2024 Standardına göre Türkiye İklim Bölgeleri Haritası' nda verilen yerleşim yeri bölge sayıları, hesaplamalarda kullanılan Toplam Isıl Geçirgenlik Katsayısı "U değeri" için önemli bir ölçüttür. Bölgesel farklılıklara göre belirlenen U değeri arttıkça, malzemenin ısıyı geçirme miktarı da artmaktadır. Sonuç olarak U değerinin düşük olması olumlu bir durumdur.

4.2. Isıl Performans Hesaplamaları

Isıl performans hesaplamalarına bakıldığı zaman bir yapı bileşeninden geçen ısı miktarını belirleyen önemli bir ölçüt ise ısı akış yoğunluğudur (q).

- Horasan (Kış, Isıtma): **q = 13,15 W/m^2.**
  Horasan'daki pozitif q değeri, kışın binanın dışına doğru olan ısı kaybını temsil eder ve bu durum ısıtma yükünü artırır.
- Cizre (Yaz, Soğutma): **q = -10,29 W/m^2.**
  Cizre'deki negatif q değeri, yazın binanın içine doğru olan ısı kazancını temsil eder ve bu durum soğutma yükünü artırır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

4.3. Yoğuşma Durumu

En soğuk yerleşim yeri için çizilen yoğuşma grafiğine göre, yoğuşmanın gerçekleştiği bölge dış yüzeyden **8,5** cm aşağıda, ısı izolasyon malzemesi içerisinde olmaktadır. Yoğuşmanın ısı yalıtım malzemesi içerisinde meydana gelmesi ve betonarme döşeme ile arasında buhar kesici bir örtünün bulunması, betonarme döşemeye etki etmesini önleyerek yoğuşmadan kaynaklı yapı hasarının önüne geçecektir ve yapı fiziği açısından yararlı bir durumdur.

4.4. Maliyet Analizi

Maliyet Analizi, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, İnşaat Birim Fiyatlarına Esas İşçilik-Araç ve Gereç Rayiç Listeleri- 2025 ve de İnşaat Birim Fiyat Tarifleri Eki Fiyat Listesi-2025 verilerine göre 1m² maliyetin, malzeme, işçilik, yapıştırıcı, ek malzemeler gibi bileşenler dahilinde poz numaralarıyla birlikte tanımlanmıştır. İki yerleşim yeri için belirlenen optimum yalıtım kalınlıklarına göre hesaplanan 1 m² çatı katı döşeme kesiti maliyetlerine bakıldığında;

- Horasan (13 cm yalıtım) : **646,87 TL/m²**
- Cizre (9 cm yalıtım) : **602,87 TL/m²** olarak hesaplanmıştır.

Aradaki maliyet farkı 44 TL'dir. 13 cm bir cam yünü, 9 cm bir cam yününden 44 TL daha pahalıdır. Kısaca bu fark cam yünü kalınlığından kaynaklanmıştır. Soğuk bölgelerde daha fazla olan bu maliyetin nedeni izolasyon malzemesi kalınlığının artmasıdır. Bu durum, Isıl Geçirgenlik Katsayısı "U değerini" düşürmekte ve uzun vadede daha az enerji tüketimi ve daha az ısı kaybı sağlamaktadır.

4.5. İstatistiksel Karşılaştırmalar

4.5.1. Horasan ve Cizre için ısıl geçirgenlik dirençlerinin "R" lerin karşılaştırılması

Horasan ve Cizre için incelenen her iki döşeme kesitinin Isıl geçirgenlik dirençlerinin "R değerlerinin" tanımlayıcı istatistiksel değerleri ve her ikisi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığı %95 güven aralığında "Bağımsız örneklem T-testi" ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları aşağıda çizelge 9 ve çizelge 10' da gösterilmiştir.

Çizelge 9. Isıl geçirgenlik dirençleri "R" için tanımlayıcı istatistikler

	Gruplar	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Isıl geçirgenlik dirençleri "R" Değerleri	Horasan	5	,7900	1,63290	,73025
	Cizre	5	,5620	1,12333	,50237

Horasan ve Cizre için hesaplanan Isıl geçirgenlik dirençleri "R" lerin ortalamalarına bakıldığında Cizre için hesaplanan "R" değerinin %28,86 oranında daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 10. Isıl geçirgenlik dirençleri "R" için Bağımsız Örneklem t testi sonuçları

Horasan ve Cizre İçin Isıl geçirgenlik dirençleri "R" Değerleri	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper

Eşit varyans gözlemlenirse	,470	**,512**	,257	8	**,803**	,22800	,88637	-1,81596	2,27196
Eşit varyans gözlemlenmezse			,257	7,093	,804	,22800	,88637	-1,86235	2,31835

Horasan ve Cizre için çatı döşemesinde hesaplanan Isıl geçirgenlik dirençlerinin "R değerlerinin" arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olmadığı (Sig.0,803) görülmüştür.

4.5.2. Horasan ve Cizre için izolasyon maliyetlerinin karşılaştırılması

Horasan ve Cizre için incelenen her iki döşeme kesitinin maliyetlerinin tanımlayıcı istatistiksel değerleri ve her ikisi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark olup olmadığı %95 güven aralığında "bağımsız örneklem T testi" ile analiz edilmiş ve analiz sonuçları aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

Çizelge 11. Döşeme kesiti maliyetleri için Tanımlayıcı istatistikler

	Gruplar	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Maliyetler	Horasan	4	161,7175	229,11367	114,55684
	Cizre	4	150,7175	231,35713	115,67857

Horasan ve Cizre için hesaplanan maliyetlerin ortalamalarına bakıldığında Cizre için hesaplanan maliyetin %6,80 oranında daha az olduğu görülmüştür.

Çizelge 12. Maliyetler için Bağımsız Örneklem t testi sonuçları

Horasan ve Cizre İçin Döşeme Kesitinin Maliyetleri	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Eşit varyans gözlemlenirse	,004	**,952**	,068	6	**,948**	11,00000	162,80295	-387,36446	409,364
Eşit varyans gözlemlenmezse			,068	5,999	,948	11,00000	162,80295	-387,37363	409,373

Horasan ve Cizre için çatı döşemesi maliyetleri arasında %95 güven aralığında anlamlı bir fark olmadığı (Sig.0,948) görülmüştür.

2025 Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre yapılan bu analizler sonucunda, mimari tasarım ve uygulamada yapılması gereken optimum yalıtım kalınlıkları sayısal sonuçlarla verilmiştir. Duvar kesitinde meydana gelebilecek nem ve rutubet sorunlarına bağlı olarak sıva, tuğla, boya, alçı vb malzemelerin zarar görmesini, bozulmasını önlemek, enerji tasarrufu ve iç mekân konforunu sağlayabilmek için önerilen kalınlıklar, uygulanması gereken minimum değerler olarak görülmeli ve buna göre yapı fiziği açısından bina ısıtma-soğutma önlemleri alınmalıdır.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Analiz sonuçları, her bölgenin iklimsel gereksinimlerinin dikkate alınarak bina kabuğunun tasarlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Tek tip duvar tasarımlarının tüm bölgelerde uygulanması, enerji verimliliğini azaltmakta ve gereksiz enerji tüketimine neden olmaktadır. Bu nedenle projelendirme sürecinde iklim verilerine dayalı optimum yalıtım kalınlığı belirlenmeli, yapı kabuğu tasarımı bölgesel koşullara göre özelleştirilmelidir. Erzurum gibi soğuk bölgelerde yüksek ısı kayıplarının azaltılması; Cizre gibi sıcak bölgelerde ise soğutma yüklerinin düşürülmesi hedeflenmelidir. Ek olarak, güneş kontrol elemanları, açık renkli yüzey kaplamaları ve pasif iklimlendirme yöntemlerinin kullanımının özellikle sıcak bölgelerde dış duvar performansını desteklediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma farklı iklim koşullarının bina ısıtma ve soğutma gereksinimleri üzerindeki etkisini sayısal olarak ortaya koymuş ve yalıtım stratejilerinin bölgesel iklim koşulları dikkate alınarak belirlenmesi gerektiğini göstermiştir. Benzer çalışmalar, aynı yerleşim yerinin en sıcak ve en soğuk meteorolojik verilerine göre yapılarak aynı bölgedeki aynı yapı elemanı için enerji ve izolasyon maliyetlerinin nasıl değiştiği görülebilir. Enerji verimli bina kabuğu tasarımı, yalnızca kullanıcı konforunu arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tüketiminin azaltılması, karbon emisyonlarının düşürülmesi ve sürdürülebilir yapılaşma hedeflerinin gerçekleştirilmesine katkı sunmaktadır. Bu bağlamda yalıtım uygulamalarının hem ekonomik hem de çevresel açıdan geleceğe yatırım olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] İZODER (Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği). (2025). Yeni TS 825 Standardının Getirdiği Yenilikler.

[2] http://www.tesisat.org/isi-yalitimi-nedir.html

[3] İMO (İnşaat Mühendisleri Odası). (2015). *Binalarda ısı yalıtımı ve ısı yalıtım malzemeleri.* TMH Dergisi, 487(462)

[4] Yalıtımda Dinamik Çözüm. (2024). Türkiye'nin Enerji Verimliliğinde Yeni Dönemi: Yeni TS 825:2024 Standardı

[5] Bektaş, V., Çerçevik, A. E., & Yerel Kandemir, S. (2017). *Binalarda ısı yalıtımının önemi ve ısı yalıtım malzemesi kalınlığının yalıtıma etkisi.* Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 4(1)

[6] Koca, T., Aksungur, S., Özgüler, A. T., & Şahin, Ş. E. (2013, Eylül). *Binalarda ısı yalıtımı malzemesinin kullanımının ekonomiye katkısı.* 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Samsun, Türkiye.

[7] https://www.izoder.org.tr/ts825-harita?se=25

[8] https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/2025-yili-b-r-m-f-yatlari-20250117121853.pdf

[9] https://birimler.dpu.edu.tr/app/views/panel/ckfinder/userfiles/74/files/oerbas/ts_825.pdf

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TRANSFORMATION OF IRRATIONAL FORMS INTO SPACE

Assoc . Prof. Dr. , Emine TARAKCİ EREN

Artvin Coruh University , eminetarakcieren@artvin.edu.tr - 0000-0002-5595-9505

Assoc . Prof. Dr. , Banu KARAŞAH

Artvin Coruh University , banukarasah@artvin.edu.tr - 0000-0001-5079-5313

Abstract

There are two types of form quests in architectural space design . One is rational , or geometric , and the other is organic , or irrational . In open space design , the design of circulation devices , hard surfaces , and soft surfaces are solved with either rational or irrational design approaches . Inspiration from Nature is quite common in organic design . Broken or curved forms , existing in nature , inspire designers in their architectural designs . Organic , or irrational , forms can be inexplicable even for the designers who use them . Drawing irrational forms based on basic geometric forms and achieving harmony between They are quite challenging . This is even more challenging for students who Don't yet have a design background . However , there is no imposition on students to choose these forms ; their design The process is entirely based on their own preferences .

The purpose of this research is to Examine the irrational forms used by first-year students of the AÇÜ Landscape Architecture Department in their first spatial design assignments . We Examine how they work with these forms and how they transform them into open spaces .

Keywords : Irrational Forms, Space, Basic Design, AÇÜ

INTRODUCTION

There are two types of form sought in architectural space design. One is rational, or geometric, and the other is organic, or irrational. In open space design, the design of circulation devices, hard surfaces, and soft surfaces is addressed through either rational or irrational design approaches (Çalişkan, 2020; Hurol, 2010; Hurol, 2010;Civelek, 2009;Kandemir, 2019).

The organic architecture movement was developed in the 19th and 20th centuries by Sullivan , Gaudí , Horta and Rudolf It developed with Steiner . This movement was interrupted by World War II in the mid-20th century, and mass production emerged in the post-war period (Korkmaz, 2022; Söğüt and Erbaş, 2024; Öner and Satıcı, 2025; onur, 1990). Architect Jacques, who set out to dispel the modernist atmosphere after the war, Gillet focused on

the roots of humanity, nature, and organic architecture in his project, which he began in 1962. With the organic architecture wave of the 1960s , sterile , clean, functional spaces began to be replaced by unidentified organic forms (balcı ve şenyurt, 2024;çalışkan, 2020; Çetkin ve Savaşır, 2025;URL-1).

Inspiration from nature was quite common in organic design, which became popular after the 1960s. Fractured or curved forms, existing in nature , inspired designers in their architectural designs. Organic forms were often composed of shapes that were impossible to explain even by the designers who used them. Today , irrational forms can be made more creative and abstracted using computer-aided design tools. When we look at the use of digital technologies in the design process and their impact on creativity, we can predict that in the dynamic design process, organic, irrational forms and functions are more influential, whether formally or functionally, than rational, linear, geometric, and functional approaches . In other words, technological advances have also had a significant impact on the use of irrational forms in architecture and landscape architecture. We can say that, particularly today, computer-aided design environments and tools are more effective in dynamic design processes, particularly in spatial approaches that prioritize intuition and creativity, than in approaches that utilize linear, constrained, and rule-based structures from a functional perspective, and restricted, regular geometric forms such as grid systems, modulation, measurement, and proportion from a formal perspective . The most important reason for this is that, with computer-aided design tools, complex, irrational ideas can be easily resolved, both functionally and formally , and the variety of opportunities they offer for creativity(Düzenli et. al, 2018;Uzun, 2015; Yıldırım, 2004; Yılmaz ve Şen, 2025 .

The purpose of this research is to examine the irrational forms used by first-year students of the AÇÜ Department of Landscape Architecture in their first-ever spatial design assignment. We examine how they manipulate these forms and transform them into open spaces. Since this is their first time designing a space, these choices will likely have a profound impact and lasting impact on their future design careers. Because irrational forms are often inspired by nature, it is crucial and valuable for landscape architects to not only create designs that respect nature but also utilize forms inspired by nature.

MATERIALS AND METHODS

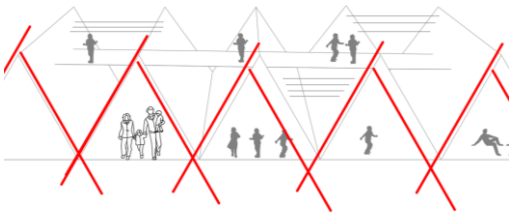
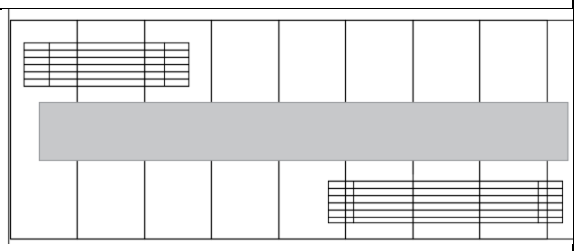
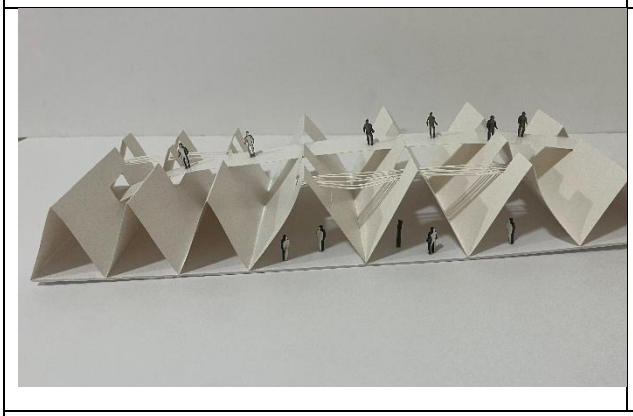
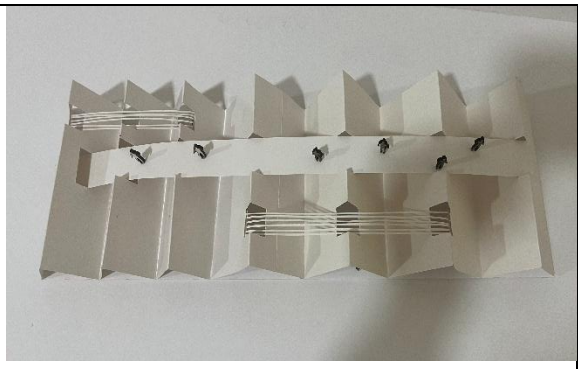
The material of the study is five final assignments prepared within the scope of the Basic Design-2 course given in the spring semester of the 2024-2025 academic year at the Artvin Coruh University Department of Landscape Architecture. In the final assignments covered within the scope of the study, students' irrational form preferences in spatial designs were examined.

FINDINGS

zigzag form, derived from the triangle, a basic geometric form, in his design, creating a space.

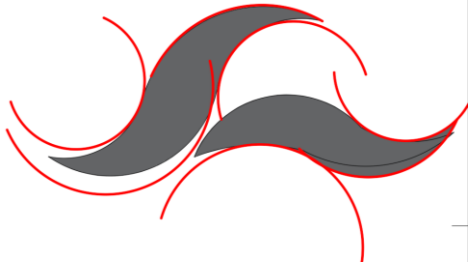
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

He envisioned a space with open lateral surfaces and a closed upper surface throughout the entire workspace. In his design, which included a roof covering element, he attempted to shift the balance of fullness and voids to favor voids by creating slits in the roof covering. This is because landscape architecture students are constantly trained in the design of open or semi-open spaces. However, students tend to gravitate towards creating enclosed spaces. When speaking of spaces, everyone thinks of spaces with enclosed sides and a roof. Before receiving professional training, first-year students, in their first year, tend to think like the general public about space design. For this reason, some of these projects exhibit a high degree of enclosure. The student designed a skywalk that runs flat across the roof shell of this design. He also designed zip lines by stretching steel cables between the zigzag roofs . Play areas appealing to different age groups were also designed beneath the zigzag covers.

Irrational form	**How the student uses this form (Plan)**
	
Model views	
	
Student: Ilkehan Gedik	

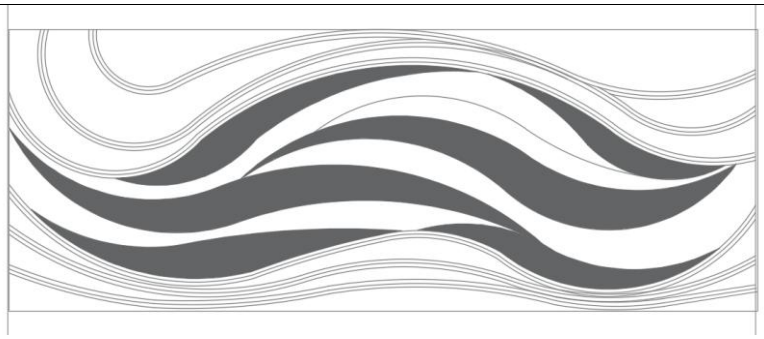
Another student chose an organic design comprised of circular shapes. One reason for choosing this design was to design a climbing area as an activity. While some sections of this form are very steep and narrow, providing a challenging climbing route, others offer a much more comfortable climbing route. Therefore, the aim was to cater to a wide range of users, from beginners to advanced athletes.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

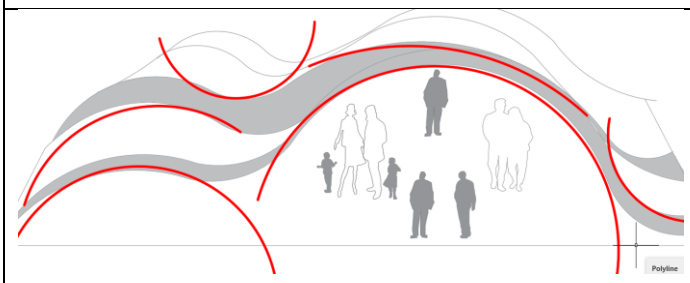
Irrational form	**How the student uses this form (Plan)**
	
Model views	
Student: Burcin Kahraman	

In this project, the student aimed to design a shopping street. With his chosen form, he planned to increase the surface area of the shop windows. In other words, instead of designing a shorter shop window and shopping area with a straight axis, he opted for curvilinear forms, increasing the length of the facades like a wave. He aimed to create both aesthetic and functional solutions. This rational form, derived from circular forms, resembles the waves found in nature. Throughout the design area, he envisioned this wave form as a road in the center and shop windows on either side. By concealing the shop windows and shopping areas within the topography, he aimed to create harmony between the ground and the third dimension.

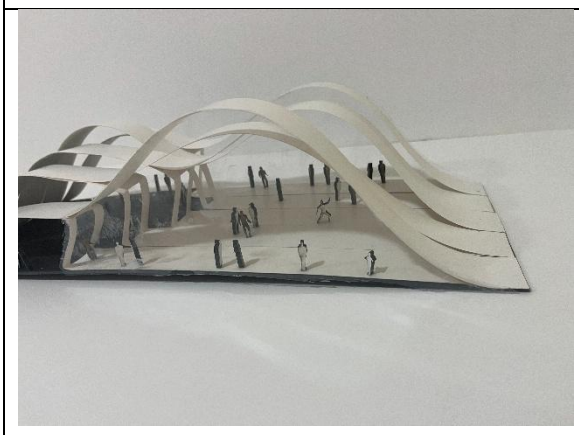
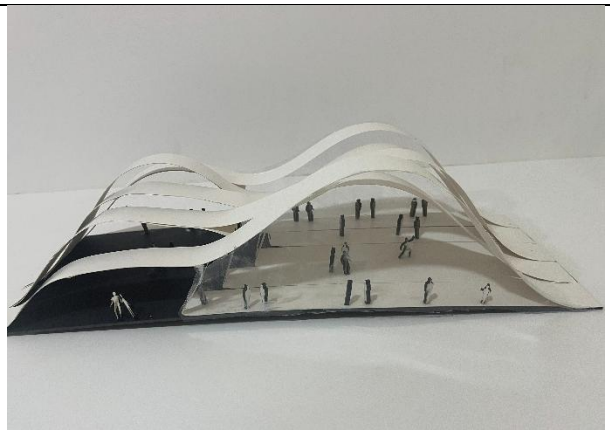
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Irrational form	**How the student uses this form (Plan)**
	
Model views	
Student: Nesrin Ersoy	

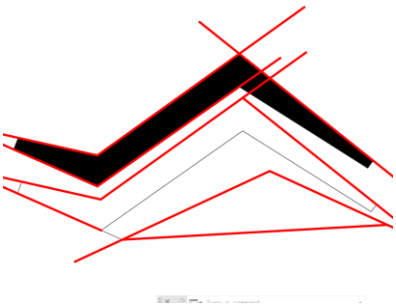
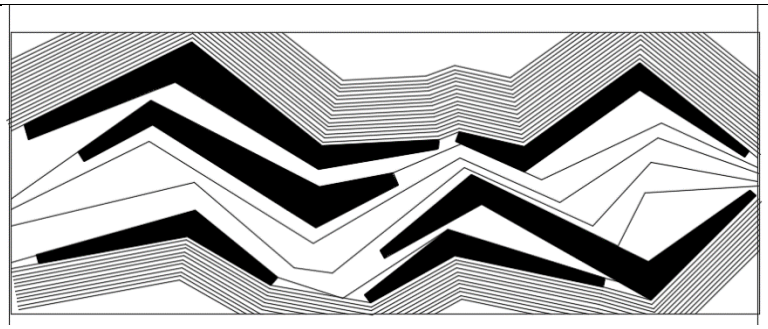
In this study, a performance area was designed. The student wanted to design a stage, an observation area, and a backstage. A steel structure covered the performance area , and a membrane material covered the entire area. When looking at the plan and elevation of this work in the painting and visuals, it appears as if the plan depicts a straight strip, as if the rectangle, a basic geometric form, was used, but in reality, as can be seen, a form derived from the circle was chosen. Like other rational forms, this form is difficult to define and name. However, if we were to associate it with something from nature, this preferred form resembles waves.

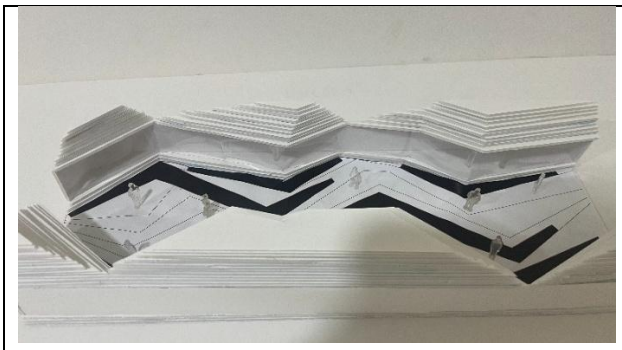
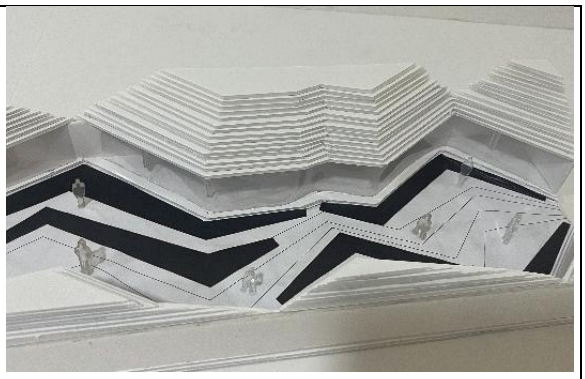
Irrational form	**How the student uses this form (Plan)**
	

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Model views	
	
Student: Ahmet Bahar İlyas	

In the final project, the student designed an art street. A continuous museum space displaying art objects and a street in front of it. The center of the design area was the street, with display units on either side. The glass-surfaced display units are composed of fractured forms, the dominant form throughout the design. If we were to compare and describe this irrational form to a natural object, we might liken it to steep cliffs. If we were to examine the rational form from which this irrational form derives, it is derived from the triangle. The fractured forms used throughout the design create the shape of the ground surface and also provide direction within this circulation area. Because it derives from the triangle, this fractured form also has a guiding effect. These fractured forms are continued on the upper roofs of the display units, forming a terrain-like structure, to create the impression that the display units are hidden within the natural landscape.

Irrational form	**How the student uses this form (Plan)**
	
Model views	

	
Student: Efsa Altun	

CONCLUSION

While irrational architecture was once considered impossible, it has now become more feasible and closer to reality thanks to the advancement of computer technology. The problems associated with the implementation of irrational forms, rather than the drawing or design itself, have largely been eliminated with the advent of 3D printers. While there used to be a concern about the use of these forms by students or architects in architectural education, mass production is now possible thanks to computer-aided production processes. These concerns and anxieties have been alleviated, though not entirely.

Even the selection of these forms by students involves a more uncertain process. As previously mentioned, these forms are difficult to define. The selection of these forms is encouraging for prospective landscape architects without a design background. The effort of a student, embarking on spatial design for the first time, to rationalize an irrational form should be commended. Of course, these studies have many shortcomings. For example, transportation has not been fully addressed in many of the studies. Irrational forms are like forms that possess emotional power, are bold, but oddly shaped, and defy gravity. Even in our own work, we attempted to define these irrational forms by referencing and comparing them to nature. Designs using irrational forms further strain the imagination, as they involve thinking outside of rational boundaries and breaking away from routine.

RESOURCES

Balci Öztürk, Ö., & Şenyurt, O. (2024). İkinci Dünya Savaşi Sonrasi Mimaride Yeni Brütalizm Ve Türkiye'ye Yansimalari (1960-1980). *Journal Of Art History/Sanat Tarihi Dergisi*, *33*(2).

Çalışkan, H. (2020). *Fransız İhtilali Bağlamında Yeni Rasyonalist Mimarlık: Ledoux, Boullée, Lequeu* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).

Çakmak, B. Y., & Şen, E. (2025). Mimari Tasarim Eğitiminde Enformel Uygulamalarin

Tasarimcinin Yaraticiliğina Etkisi. *Turkish Journal Of Fashion Design And Management*, *7*(2), 215-234.

Çetgin, Y., & Savaşır, G. (2025). Sürrealizm ve Korealizm Arakesitinde Frederick Kiesler'in Sonsuz Ev'i. *Yedi*, (33), 35-46.

Civelek, Y. (2009). Mimarlık, tarihyazımı ve rasyonalite: XX. Yüzyılın ilk yarısındaki modern Türk mimarisinde biçime dayalı sembolik söylem meselesi. *Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi*, (13), 131-152.

Düzenli, T., Yılmaz, S., & Alpak, E. M. (2018). Peyzaj mimarlığı eğitiminde bir tasarım yaklaşımı: Doğal örüntülerden esinlenme. *SED Sanat Eğitimi Dergisi*, *6*(1), 21-35.

Hurol, Y. (2008). Ekonomi-Tektonik İlişkisi, ve Mimari Sorumluluk Konularına Eleştirel bir Bakış.

Hurol, Y. (2010). Mimari Tasarım Eğitiminde Öznelliğe dair bir Özeleştiri Denemesi.

Onur, A. Z. (1990). Türk Mimarisinde Rasyonel ve İrrasyonel Dönemler. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *5*(1-2).

Öner, H., & Satıcı, B. (2025). Doğal Formların Mimari Tasarım Üzerindeki Etkileri. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, *7*(2), 117-143.

Kandemir, Ö. (2019). Mekân Tasarlama Eylemi ve Eğitimine Karmaşıklık Teorisi Üzerinden Çağdaş Bir Yaklaşım. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *20*(1), 37-60.

Korkmaz, S. (2022). *Biyomimetik tasarim örnekleri üzerinden biçİmsel taklidin değerlendirilmesi* (Master's thesis, Mimar Sinan Fine Arts University (Turkey)).

Söğüt, M. A., & Erbaş, B. C. (2024). Wabi-Sabi Tasarımların Organik Mimari Üzerinden İncelenmesi. *YDÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *6*(2), 1-17.

Uzun, S. (2015). *The development process of modern architecture and the place of organic architecture in modern architecture* (Master's thesis , Istanbul Arel University, Institute of Science).

Yıldırım, M. T. Mimari Tasarimda Biçimlendirme Yaklaşimlari İle Bilgisayar Yazilimlari İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *19*(1).

Yılmaz, B., & Şen, E. (2025). Mimari Tasarım Eğitiminde Enformel Uygulamalarla Yaratıcılığın Geliştirilmesi: Moda-Mimarlık Etkileşimli Deneysel Bir Uygulama. *Turkish Journal of Fashion Design and Management*.

Yıldırım, M. T. Mimari Tasarimda Biçimlendirme Yaklaşimlari İle Bilgisayar Yazilimlari İlişkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *19*(1).

URL-1 (ERİŞİM TARİHİ: 12.12.2025). https://www.arkitera.com/haber/organik-mimari-deneyimi-magarada-yasamak/

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Transformation Of Basic Geometric Forms To Space

Assoc . Prof. Dr. , EMİNE TARAKCİ EREN

Artvin Coruh University , eminetarakcieren@artvin.edu.tr - 0000-0002-5595-9505

Assoc . Prof. Dr. , BANU KARAŞAH

Artvin Coruh University , banukarasah@artvin.edu.tr - 0000-0001-5079-5313

Abstract

Of landscape architecture , all designed spaces are derived from the basic forms of the circle , triangle , and square . We perceive and accept these basic forms most easily because they are easily identifiable . These forms have continued to be used in architecture throughout human history and in landscape architecture and architecture today . In landscape architecture design courses , students are constantly informed about how these forms are formed , examples of their use , and their visual characteristics , and are encouraged to create designs . In this study , first-year students , who were to undertake spatial design for the first time, were given a problem to create spaces using basic geometric forms . Throughout the semester , students had been taught design leitmotifs and elements , and these basic forms had been used in various ways . However , this project was the first time they implemented spatial design , and this project was their first foray into human scale and its use .This study examined the architectural form preferences of first-year students in the Department of Landscape Architecture at Artvin Çoruh University , and how they organized and used these forms in their final assignments for the Basic Design 2 course .

Keywords : Basic Forms, Space, Basic Design, AÇÜ

INTRODUCTION

Point, line, plane, and volume are the fundamental elements of geometry (Tuluk, 2014; Kılıç et al. , 2015). These are the components that give rise to shape and form (Koca, 2022; Kaptan, 1997). When creating form, this process begins with the first point (Tokgöz and Yıldız, 2024). The movement of the point creates a line, the movement of the line creates a plane, and the movement of the plane creates volume (Ching, 2002; Akgül, 2018; Koca, 2022; Öztürk, 2023).

An element with a specific location in space is called a point (Tuluk, 2014). Because a point has no width or length, it has no movement or direction. Although a point has no specific form, it can become conspicuous depending on how it is used (Koca, 2022). A point organizes the elements surrounding it and can dominate its space (Ching,2002).

A line is formed by a dot continuing in a specific direction. When we examine the dimensional properties of a line, we see that, like a dot, it has neither width nor length, but it does have length. The most important characteristic of a line is its ability to define a mass or a concrete form. A line is the primary determinant in perceiving the shape of an object or objects. This is because the first thing we see when we look at an object or objects is their edge. Form cannot be defined without lines (Koca, 2022; Ching, 2002; Naiem, 2015). Line is one of the most fundamental tools used when creating or expressing geometric shapes/forms and many other visual works.

Expressions formed by extending lines in one direction, which have length, width, surface, direction, and position, are called planes. As in all visual arts and architecture, the most important component for

creating space in landscape architecture is the plane (Ching , 2002). Planes, also known as lines, refer to the way in which surface boundaries are defined.

Planes define the forms of architectural volumes. The visual characteristics of a form are related to the planes that form the volume that creates that form (Naiem , 2015). Therefore, we can say that the plane is a key element in the formation of architectural form (Koca, 2022).

The volume or mass that we call architectural form is formed by points (corners) where many planes intersect, lines (edges) where two planes intersect, and planes (surfaces) which are the boundaries of the volume (Ching , 2002).

In reality, all forms are derived from the square, circle, and triangle, which are considered fundamental forms. Fundamental geometric forms (square, triangle, and circle) are regular and familiar forms that our logic can accept and easily perceive (Demirkaya, 2003). Plato described fundamental geometric forms as easily identifiable (Ching , 2002). Classical rational geometric forms were used in ancient Egyptian, Greek, Roman, Renaissance, Neoclassical, and Modern architecture (Yakan, 1999).

Throughout the history of architecture, these basic forms, and others derived from them, have been used in all architectural works. In this study, we presented students who were planning to design spaces for the first time with a problem about creating spaces using basic geometric forms and expected them to solve it. Throughout the course, while teaching design principles and elements, these basic forms have been used extensively by students in various forms. However, this project was the first time they implemented spatial design, and this project was the first time they experienced human scale and its use. This study examines the architectural form preferences and reasons for these forms in the final assignments of the Basic Design 2 course of first-year students in the Landscape Architecture Department at Artvin Çoruh University.

MATERIAL AND METHODS

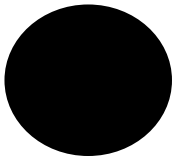
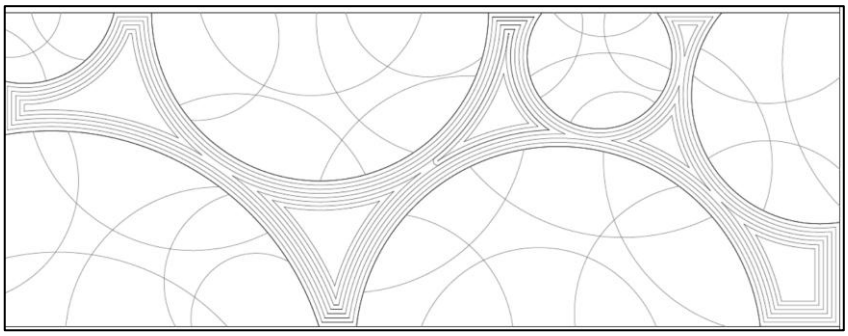
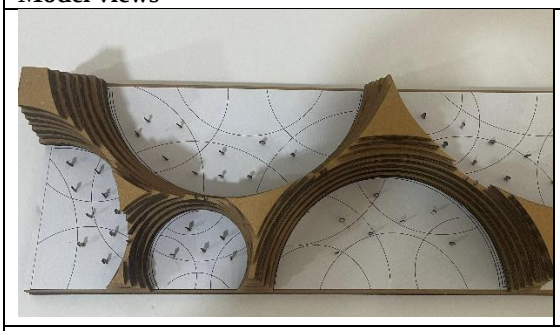
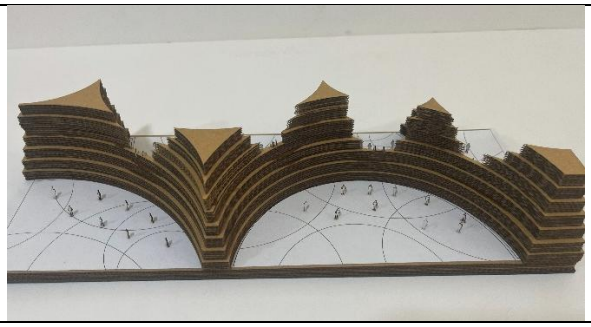
The main material of the study consists of 6 final studies developed in the Basic Design 2 course given in the spring semester of 2024-2025 academic year at the AÇÜ Department of Landscape Architecture.

RESULTS

Our first student chose the circle as a basic form and, after conducting various preliminary studies, designed the space entirely using circles and their lines, as shown in the plan drawing in Table 1. He used circular arcs as the boundaries of the space, and as he designed the third dimension, the walls formed by these arcs gradually receded and rose. He intersected the circular arcs in different ways as the floor covering, aiming to break the monotony that would arise from repeatedly using the same form. In the design area, the designer created a composition by juxtaposing several incomplete circles of different sizes , and then separated these spaces with vertical walls for the different activities he envisioned within each circle.

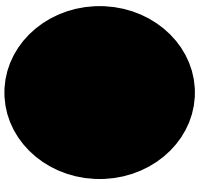
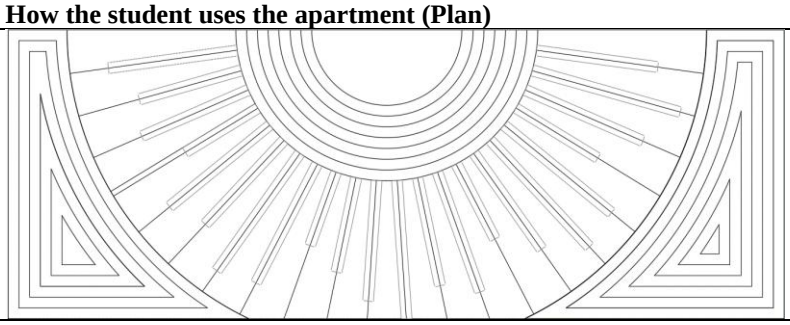
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Table 1. First study and its details

Geometric form (Circle)	How the student uses the apartment (Plan)
	
Model views	
	
Student: Bengusu Simsek	

Another student, who used the circle, a fundamental form, in his design, conceived of a semicircle as the dominant form throughout the entire area and designed it. The circle, radiating from the center, was used to extend to the site's boundaries. In this project, the circular form was used both horizontally and vertically to enhance its impact. A topographical layout was created with circular axes, starting with the smallest circular arc at one boundary of the site, by leveling the area. At the point where the topography ends and reaches the ground, a suitable width was provided for the road (passage), and the other boundary of the site was also defined with a circular arc. A semicircular road was designed between the topography and this topography on both sides of the study area. Arcades, also composed of circular arcs , were also designed along the road.

Table 2. Second study and its details

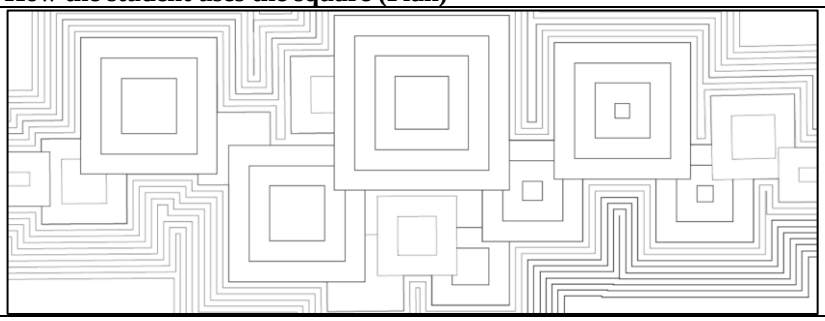
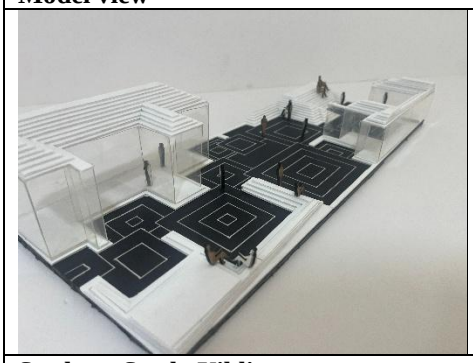
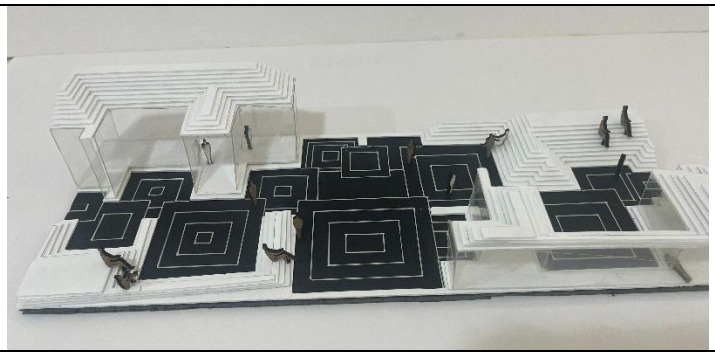
Geometric form (Circle)	How the student uses the apartment (Plan)
	
Model views	

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Student: Rabia Sökmenci

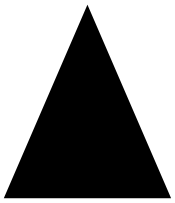
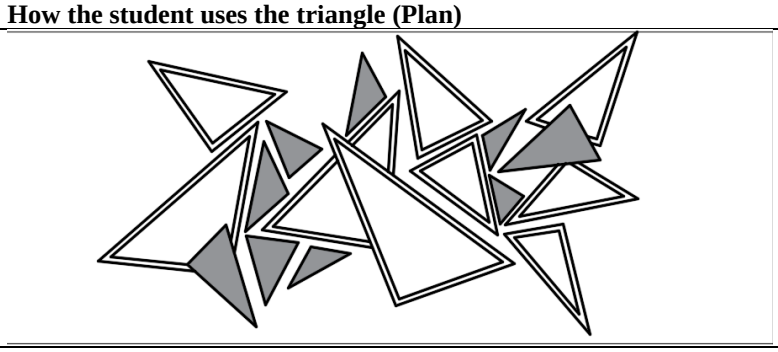
Using squares to design spaces, the student began working on a two-dimensional plan. Initially, he attempted to create a composition by arranging squares of varying sizes side by side or in front and back throughout the design area. The function of this design area was determined to be the street, and the ground design was continued with appropriate solutions. Squares of varying sizes, spaced at different intervals, were placed one on top of the other to create a sense of continuity. While street users circulated uninterruptedly , seating areas, mounds, and semi-enclosed spaces were created in the remaining areas of the squares.

Table 3. Third study and its details

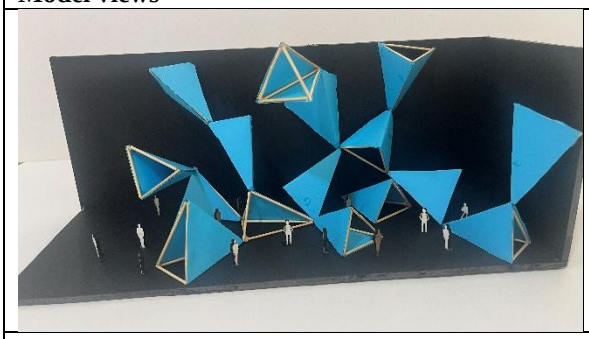
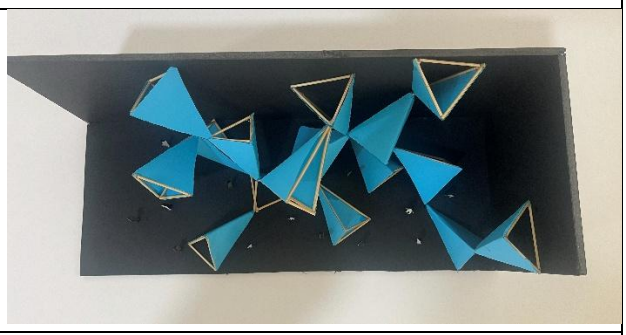
Geometric form (square)	**How the student uses the square (Plan)**
	
Model view	
	
Student: Sevda Yildiz	

Another student chose the triangle, a basic form. The triangle is inherently a challenging architectural form because acute angles create limitations and problems in spatial use. Therefore, in this study, the student chose to incorporate the third dimension of triangles into the design and use triangular prisms. Without covering all surfaces of these triangular prisms, he exposed some surfaces and emphasized only their edges, striving to achieve a balance between fullness and emptiness in the form and design. He also sought to make the form more useful and functional. By using triangular prisms in front and behind relative to each other on the floor and wall surfaces, he created a variety of sizes, envisioning some of these triangular prisms as exhibition units. In other words, the student envisioned this space as a museum and designed exhibition units.

Table 4. Fourth study and its details

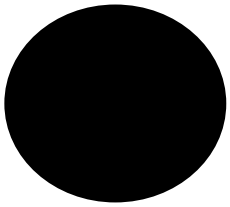
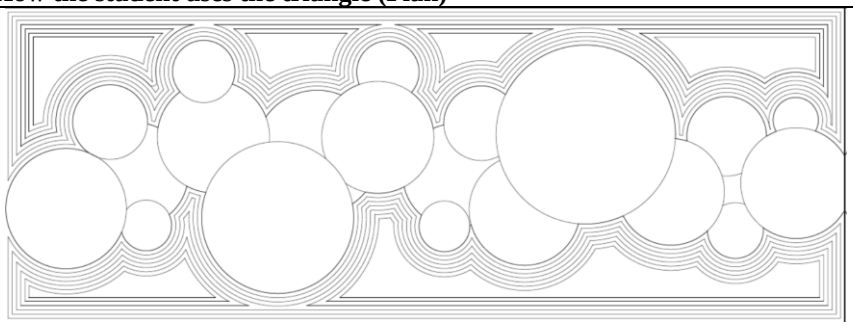
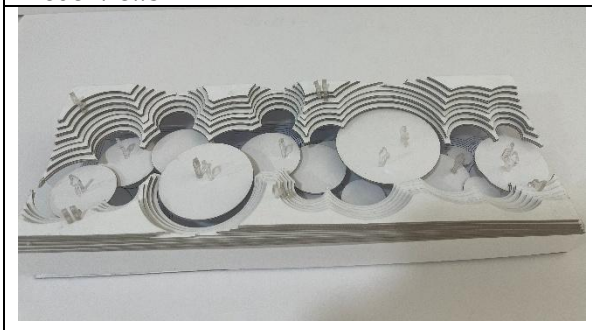
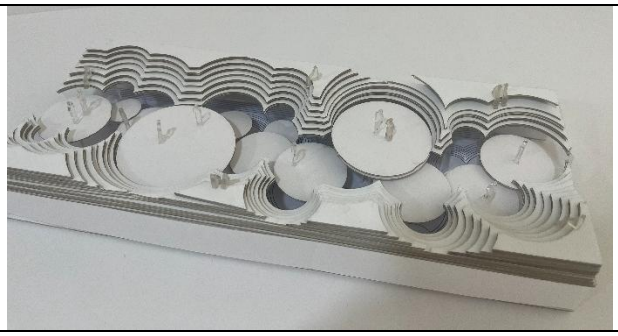
Geometric form (triangle)	**How the student uses the triangle (Plan)**
	

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Model views	
	
Student: Melih Taha Erenci	

In another study, a student selected the circle as a basic form and designed a layered, stepped playground. By combining various circles, arranged side by side, either in the front or back, they aimed to create a surprising and fun space. The user group here was considered children, and care was taken to create a space that appealed to them. Children enjoy more energetic and active activities. For children who enjoy enthusiastic, energetic, dynamic, and active play, the student designed a space featuring circular climbing mounds, circular trampolines , and circular paths that appear suspended in the air, actually having a supporting structure underneath.

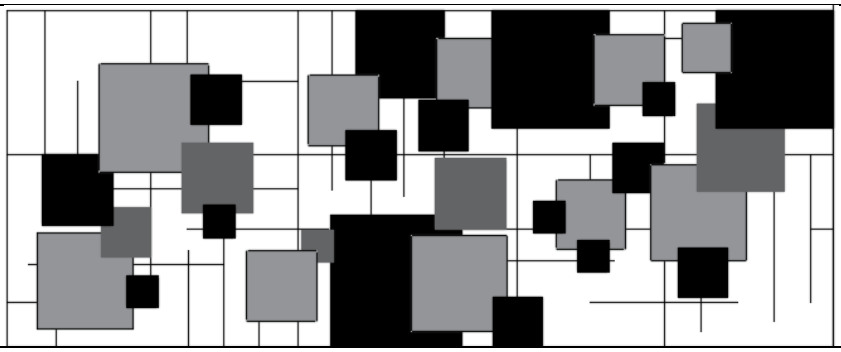
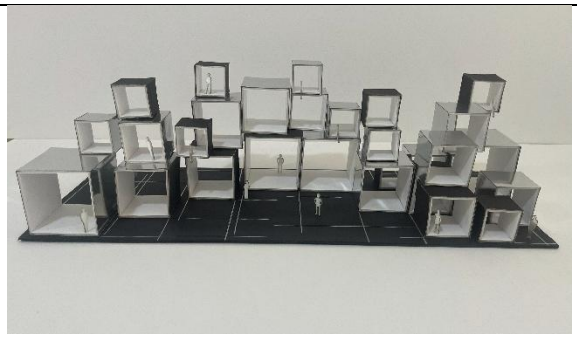
Table 5. Fifth study and its details

Geometric form (circle)	**How the student uses the triangle (Plan)**
	
Model views	
	
Student: Melike Kapan	

In the final project, the student again opted for square forms. He wanted to design a labyrinth with a very regular form. However, he took a different approach to the labyrinth, designing not just a single-story labyrinth horizontally, but also a labyrinth with multiple levels rising vertically, using stacked cubes . While he chose black and bright colors for the exteriors of the cubes in his space, the student, wanting to convey the ambiguity of the labyrinths, opted for all-white interior surfaces. He also used the linear patterns of classic labyrinth layouts in his flooring choices throughout the workspace .

Table 7. Seventh study and its details

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Geometric form (hexagon)	**Student's use of the hexagon (Plan)**
	
Model views	
	
Student: Neslihan Altındağ	

CONCLUSION

The design elements and principles taught to students throughout the Basic Design-2 course have been transformed for the first time into spatial design through the examples presented in this study. While their previous studies had focused entirely on abstract design, omitting any human involvement, and solely on the use of abstract principles and elements, these studies begin to solidify their work. They are a starting point for their design careers. Therefore, these studies begin with their most basic and simplest forms. Despite numerous shortcomings, these studies will inform students' future work and guide them in their subsequent work regarding areas they identified but were unable to address.

The three main elements of an architectural whole—function, technique, and form—are shaped by establishing relationships and acquiring aesthetic qualities, and thus, an architectural work can be considered (Aytem , 2005). In this study, no limitations were placed on the students' choice of function, technique, or form. This was because the limits were not intended to hinder their creativity in their designs. Kurtçu (1999) examines the process of shaping architecture in three stages and evaluates them under the headings of finding the functional form, maximizing human satisfaction with the functional form, and imbuing the functional form with symbolic meaning. Turuthan (1987) lists the thinking tools used in the design of form as existing detailed images, behaviors, concrete concepts (imaginative concepts), and abstract (verbal) concepts, from the abstract to the concrete (Çırak and Aydın 2012). Turuthan (1987) also emphasizes that angular forms are hard, while circular, cylindrical, and free-form forms are soft. Students' preferences for angular and circular forms were equally favored. There was no superiority over one another. Aydınlı (1986) also notes that rectangular forms create a balanced and dynamic effect, acute-angled forms create an unbalanced and uncomfortable effect, and circular forms create a soothing and calming effect.

REFERENCES

Çırak Yılmaz, M. and Aydın, D. (2021). Visual Impact of Form in Architecture; A Research on Designer's Goal and User. *Modular Journal* , 4(2), 152-171.

Tuluk, G. (2014). POINT, LINE, SURFACE AND SPACE KNOWLEDGE AND MULTIPLE REPRESENTATIONS OF CLASSROOM TEACHER CANDIDATES. *Kastamonu Education Journal* , *22* (1), 361-384.

Kılıç, A. S. , Temel, H., & Şenol, A. (2015). INVESTIGATION OF PROSPECTIVE TEACHERS' KNOWLEDGE LEVELS AND MISCONCEPTIONS ABOUT THE CONCEPTS OF "POINT, LINE, PLANE AND ANGLE". *Dicle University Ziya Gökalp Faculty of Education Journal* , (26), 205-229.

Koca, N. (2022). *The Relationship Between Geometric Form and Perception in Architecture: A Study on Contemporary Museum Examples* (Master's thesis , September 9 University (Turkey)).

Kaptan, BB (1997). *Form -space relationship in interior architecture* (Master's thesis , Anadolu University (Turkey)).

Tokgöz, S. , & Yıldız, B. (2024). USE OF BASIC DESIGN CONCEPTS IN KNITTING DESIGN. *Turkish Online Journal of Design Art and Communication* , *14* (1), 262-280.

Akgül, R. (2018). An Experimental Study on the Effects *of Polyhedrons on Three-Dimensional Formation in Basic Architecture Education* (Master's thesis , September 9 University (Turkey)).

Öztürk, EN (2023). *Examining the phenomenon of boundary–space–human and the concept of limitlessness in interior space* (Master's thesis , Marmara University (Turkey)).

Çırak Yılmaz, M. and Aydın, D. (2021). The Visual Impact of Form in Architecture; A Study on Designer Goals and User. *Modular Journal* , 4(2), 152-171

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KABLO SAĞLIK DURUMLARININ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİ İLE ÇOK SINIFLI OLARAK SINIFLANDIRILMASI

Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ
Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi,
feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr- 0000-0002-7695-6426

Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL
Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi,
hasan.uzel@bozok.edu.tr- 0000-0002-8238-2588

ÖZET

Bu çalışmada, kablo altyapılarının sağlık durumlarının izlenmesi ve olası arızaların erken tespiti amacıyla Cable Multi-State Monitoring System (CMSMS) veri seti kullanılmıştır. Veri seti; sıcaklık, titreşim, gerinim, enerji tüketimi ve işlem süresi gibi sensör tabanlı ölçümlerden oluşmakta olup kablo durumu Normal, Degradation ve Fault olmak üzere üç sınıfta ele alınmıştır. Çalışma kapsamında K-En Yakın Komşu (KNN), Extreme Gradient Boosting (XGBoost) ve Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) algoritmaları uygulanmıştır. Deneysel sonuçlara göre KNN modeli %96.26 doğruluk ve 0.9939 ROC-AUC değeri elde etmiştir. XGBoost modeli %99.87 doğruluk ve 0.999996 ROC-AUC, LightGBM modeli ise %99.93 doğruluk ve 0.999998 ROC-AUC değerleri ile en yüksek performansı göstermiştir. Elde edilen bulgular, özellikle ağaç tabanlı topluluk yöntemlerinin kablo sağlık durumlarının yüksek doğrulukla sınıflandırılmasında etkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kablo sağlık izleme, Makine öğrenmesi, Kestirimci bakım.

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji dağıtım sistemleri, telekomünikasyon altyapıları ve akıllı şehir uygulamaları gibi kritik alanlarda kullanılan kablo sistemlerinin güvenilirliği büyük önem taşımaktadır. Bu tür altyapılarda meydana gelebilecek kablo arızaları; enerji kesintileri, iletişim aksaklıkları ve yüksek bakım maliyetleri gibi ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle kablo sağlık durumlarının sürekli izlenmesi ve olası arızaların erken aşamada tespit edilmesi, modern altyapı yönetiminde temel bir gereklilik haline gelmiştir [1].

Geleneksel bakım yaklaşımları çoğunlukla periyodik kontroller ve arıza sonrası müdahalelere dayanmaktadır. Ancak bu yöntemler hem maliyetli hem de beklenmeyen arızaların önüne geçmede yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda sensör teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte sıcaklık, titreşim ve gerinim gibi fiziksel parametrelerin gerçek zamanlı olarak izlenmesi

mümkün hale gelmiş; bu durum kestirimci bakım (predictive maintenance) yaklaşımlarının önünü açmıştır [2]. Sensör tabanlı izleme sistemlerinden elde edilen büyük hacimli verilerin etkin bir şekilde analiz edilmesi ise makine öğrenmesi yöntemlerini ön plana çıkarmaktadır.

Makine öğrenmesi algoritmaları, karmaşık ve çok boyutlu verilerden anlamlı örüntüler çıkarabilme yetenekleri sayesinde arıza tespiti ve sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde, kablo ve benzeri altyapı bileşenlerinin sağlık durumlarının belirlenmesinde K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve karar ağaçları gibi çeşitli yöntemlerin başarıyla uygulandığı çalışmalar bulunmaktadır [3,4]. Bununla birlikte, ağaç tabanlı topluluk (ensemble) yöntemleri olan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) ve Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) algoritmaları, yüksek doğruluk ve genelleme kabiliyetleri sayesinde son yıllarda öne çıkmaktadır [5].

Bu çalışmada, Cable Multi-State Monitoring System (CMSMS) veri seti kullanılarak kablo sağlık durumlarının Normal, Degradation ve Fault olmak üzere üç sınıfta çok sınıflı olarak sınıflandırılması amaçlanmıştır. Sensör verilerine ek olarak enerji tüketimi ve işlem süresi gibi uç cihazlara ait parametrelerin de modele dahil edilmesi, çalışmayı sürdürülebilirlik ve yeşil bilişim (green computing) perspektifinden değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Çalışma kapsamında KNN, XGBoost ve LightGBM algoritmaları karşılaştırmalı olarak analiz edilerek, kablo sağlık izleme sistemleri için en uygun yaklaşımın belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, kablo altyapılarının operasyonel durumunu izlemek ve olası arızaları erken aşamada tespit edebilmek amacıyla CMSMS veri seti kullanılmıştır. Çalışmanın metodolojisi; veri setinin tanımlanması, veri ön işleme adımları ve kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının açıklanmasından oluşmaktadır.

2.1. Veri Seti (Dataset)

Bu çalışmada kullanılan veri seti, 2022 yılı boyunca günlük olarak toplanan ve toplamda 1.000 farklı kabloya ait sensör ölçümlerini içeren CMSMS veri setidir [6]. Veri seti, akıllı altyapı sistemlerinde kullanılan kabloların sağlık durumunun izlenmesine yönelik olarak tasarlanmıştır.

Veri seti, kablo boyunca konumlandırılmış heterojen sensörlerden elde edilen ölçümleri içermektedir. Her bir veri örneği belirli bir zaman damgasına karşılık gelmekte olup aşağıdaki özniteliklerden oluşmaktadır:

- Temperature (°C): Kablonun sıcaklık değeri. Aşırı ısınma, kablo yalıtımında bozulma veya yaklaşan arıza durumlarının göstergesi olabilir.
- Vibration (m/s^2): Kablo üzerinde algılanan titreşim seviyesi. Mekanik stres, dış darbeler veya yapısal bozulmalar hakkında bilgi sağlar.
- Strain (mm/m): Kablonun birim uzunluk başına uzama miktarı. Kablodaki deformasyon ve yüklenme durumlarını tespit etmek amacıyla kullanılır.
- Energy Consumption (W): Sensör verilerinin işlendiği uç cihazların (Raspberry Pi veya NVIDIA Jetson) enerji tüketimi.
- Processing Speed (ms): Sensör verilerinin uç cihazlar üzerinde işlenme süresi (milisaniye).

Hedef değişken olarak kullanılan Cable State, kablonun sağlık durumunu üç farklı sınıfta ifade etmektedir:

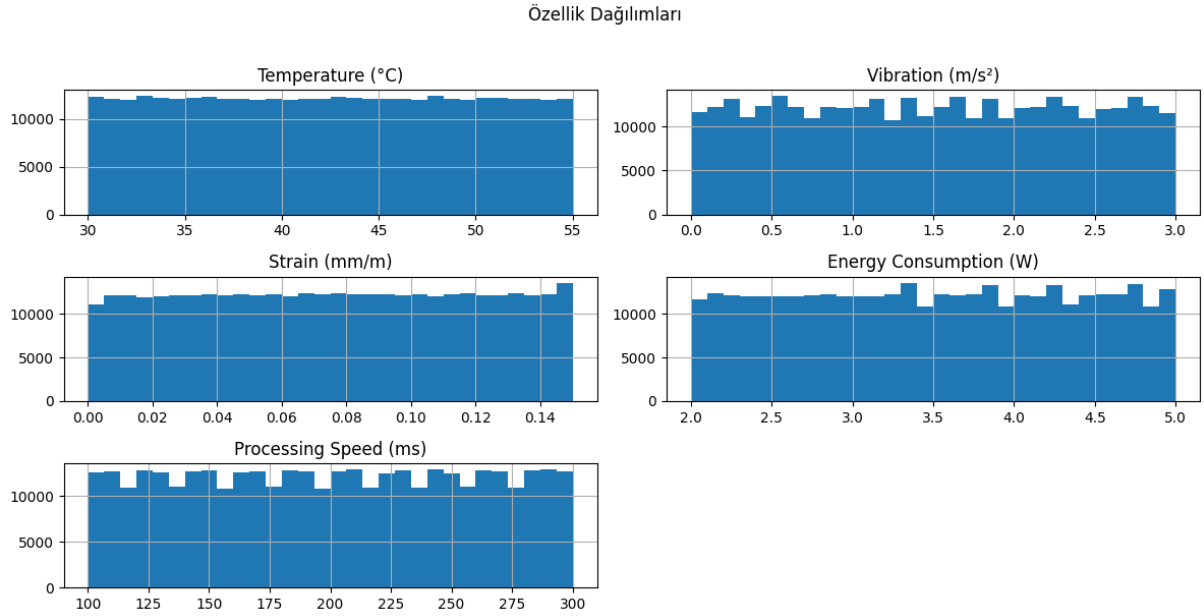
- Normal: Kablo çalışma koşullarının güvenli aralıkta olduğu durumlar

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

- Degradation: Kabloda performans düşüşü veya bozulma belirtilerinin başladığı durumlar
- Fault: Kablonun arızalı olduğu veya ciddi hasar riski taşıdığı durumlar

Kablo durum sınıflandırması, sıcaklık, titreşim ve gerinim değerleri için önceden tanımlanmış eşik değerlere dayalı olarak belirlenmiştir. Bu yapı, erken arıza tespiti ve kestirimci bakım uygulamaları için veri setini oldukça uygun hale getirmektedir.

Modelleme sürecinde, veri seti %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde ayrılmış; sınıf dağılımının korunması amacıyla stratified sampling yöntemi kullanılmıştır. Sayısal özellikler, modellerin performansını artırmak amacıyla StandardScaler yöntemi ile normalize edilmiştir. Hedef değişkenler ise etiket kodlama (Label Encoding) yöntemi ile sayısal forma dönüştürülmüştür.



Şekil 1. Kablo izleme sistemine ait sensör verilerinin özellik dağılımları

Şekil 1'de, CMSMS veri setinde kullanılan beş temel özelliğin dağılımları gösterilmektedir. Sıcaklık (Temperature), titreşim (Vibration), gerinim (Strain), enerji tüketimi (Energy Consumption) ve işlem süresi (Processing Speed) değişkenlerinin histogramları incelendiğinde, tüm özelliklerin belirli aralıklar içerisinde yaklaşık olarak uniform (dengeli) bir dağılım sergilediği görülmektedir. Sıcaklık değerlerinin yaklaşık 30–55 °C aralığında dağıldığı ve kablo çalışma koşullarını temsil edecek geniş bir kapsama sahip olduğu gözlemlenmektedir. Titreşim ve gerinim değerleri ise mekanik stres ve yapısal yüklenmeleri yansıtacak şekilde düşükten yükseğe doğru homojen bir dağılım göstermektedir. Bu durum, hem normal hem de bozulma ve arıza durumlarının modele yeterli çeşitlilikte sunulduğunu göstermektedir. Enerji tüketimi ve işlem süresi dağılımları incelendiğinde, uç cihazların (Raspberry Pi ve NVIDIA Jetson) farklı işlem yükleri altında çalıştığı senaryoların veri setine dengeli bir biçimde dahil edildiği anlaşılmaktadır. Özelliklerin belirgin bir çarpıklık veya uç değer yoğunluğu içermemesi, makine öğrenmesi modelleri için veri setinin uygun ve dengeli olduğunu göstermektedir. Bu dağılım yapısı, kullanılan sınıflandırma algoritmalarının genelleme yeteneğini artırmakta ve kablo sağlık durumlarının güvenilir bir şekilde tahmin edilmesine katkı sağlamaktadır.

2.2. Kullanılan Algoritmalar

Bu çalışmada, kablo durumlarının çok sınıflı (multi-class) olarak sınıflandırılması amacıyla üç farklı makine öğrenmesi algoritması kullanılmıştır. Seçilen algoritmalar, hem geleneksel hem de gelişmiş topluluk (ensemble) tabanlı yöntemleri temsil etmektedir.

2.2.1. K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors – KNN)

KNN algoritması, örnek tabanlı ve parametrik olmayan bir sınıflandırma yöntemidir. Algoritma, test örneğinin sınıfını, eğitim kümesindeki en yakın **k** komşusunun çoğunluk oyuna göre belirlemektedir. Bu çalışmada komşu sayısı k = 5 olarak seçilmiştir.
KNN algoritması, özellikle veri dağılımının net olduğu durumlarda etkili sonuçlar üretmekle birlikte, büyük veri setlerinde hesaplama maliyetinin artması ve gürültüye duyarlılığı gibi dezavantajlara sahiptir. Buna rağmen, referans bir model olarak kullanılması açısından çalışmaya dahil edilmiştir.

2.2.2. Extreme Gradient Boosting (XGBoost)

XGBoost, karar ağaçları tabanlı, yüksek performanslı bir gradient boosting algoritmasıdır. Aşamalı öğrenme yaklaşımı ile her yeni model, önceki modellerin hatalarını minimize etmeyi hedefler. XGBoost; düzenlileştirme (regularization), paralel işlem yetenekleri ve aşırı öğrenmeye karşı dayanıklılığı sayesinde karmaşık veri setlerinde başarılı sonuçlar sunmaktadır. Bu çalışmada XGBoost algoritması, çok sınıflı sınıflandırma problemi için softprob hedef fonksiyonu ile yapılandırılmıştır. Model performansı, doğruluk (accuracy) ve makro ortalamalı ROC-AUC metriği ile değerlendirilmiştir.

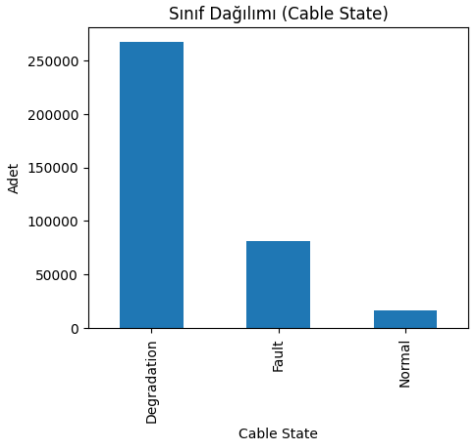
2.2.3. Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)

LightGBM, büyük ölçekli veri setleri için optimize edilmiş, ağaç tabanlı bir gradient boosting algoritmasıdır. Seviye bazlı (level-wise) büyüme yerine yaprak bazlı (leaf-wise) büyüme stratejisi kullanarak daha hızlı eğitim süresi ve yüksek doğruluk sağlamaktadır. Bu çalışmada LightGBM algoritması, çok sınıflı sınıflandırma problemi için kullanılmış ve enerji verimliliği ile işlem hızı gibi özellikleri nedeniyle sürdürülebilir ve yeşil bilişim yaklaşımları açısından da değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Bu bölümde, CMSMS veri seti kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçları sunulmaktadır. Kablo sağlık durumlarının sınıflandırılması amacıyla KNN, XGBoost ve LightGBM algoritmaları uygulanmış; modellerin performansları doğruluk (accuracy), ROC-AUC, karışıklık matrisi ve ROC eğrileri gibi farklı değerlendirme metrikleri üzerinden analiz edilmiştir. Ayrıca sensör verilerinin dağılımları, sınıf yapısı ve model çıktıları grafiksel olarak incelenerek elde edilen bulgular karşılaştırmalı bir biçimde raporlanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



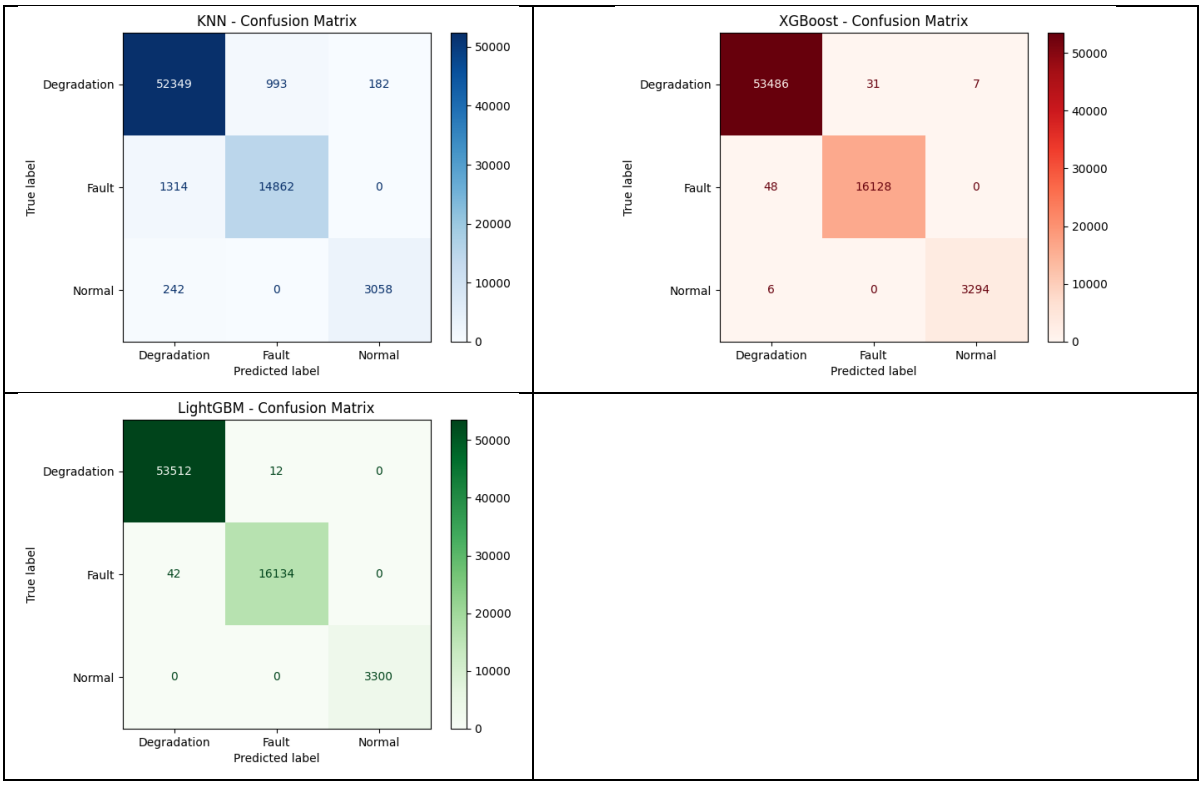
Şekil 2. Kablo sağlık durumlarına ait sınıf dağılımı (Cable State)

Şekil 2, veri setindeki kablo sağlık durumlarının sınıf dağılımını göstermektedir. "Degradation" sınıfının çoğunlukta olduğu, "Fault" sınıfının orta düzeyde, "Normal" sınıfının ise oldukça sınırlı sayıda örnek içerdiği görülmektedir. Bu dengesiz sınıf yapısı, gerçek dünya kablo izleme senaryolarını yansıtmakta olup, model değerlendirmesinde stratified veri bölme ve ROC-AUC gibi ek performans metriklerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

```
=== Model Karşılaştırması ===
      Model  Accuracy   ROC_AUC
0       KNN  0.962589  0.993920
1   XGBoost  0.998740  0.999996
2  LightGBM  0.999260  0.999998
```

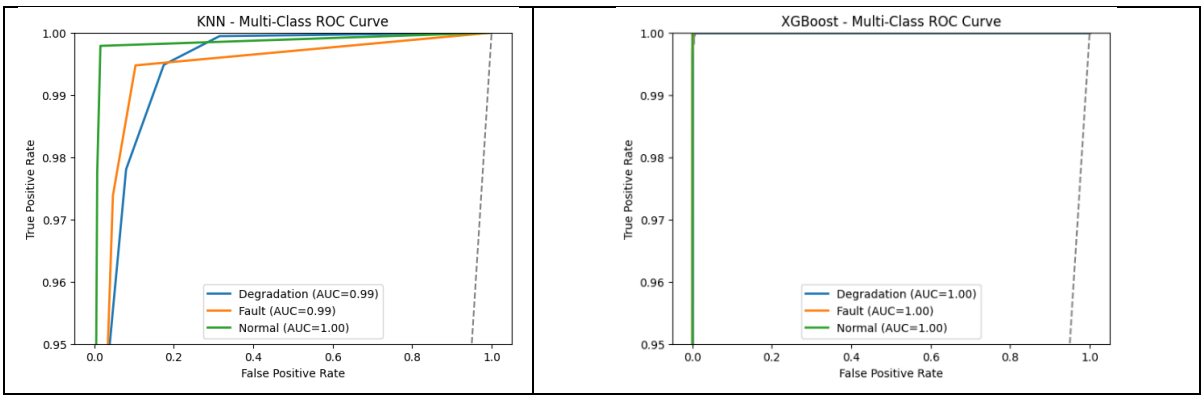
Şekil 3. Kullanılan makine öğrenmesi modellerinin doğruluk (Accuracy) ve ROC-AUC karşılaştırması

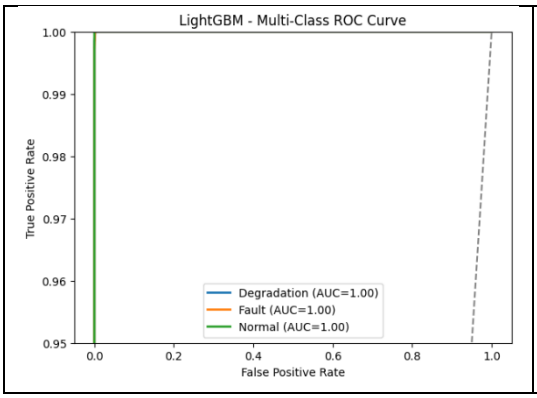
Şekil 3'te KNN, XGBoost ve LightGBM modellerinin performans karşılaştırması sunulmaktadır. KNN modeli, %96.26 doğruluk ve 0.9939 ROC-AUC değeri elde etmiştir. Buna karşın, XGBoost modeli %99.87 doğruluk ve 0.999996 ROC-AUC değeriyle belirgin bir performans artışı göstermiştir. En yüksek performans ise LightGBM modelinde gözlemlenmiş olup, %99.93 doğruluk ve 0.999998 ROC-AUC değerlerine ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ağaç tabanlı topluluk (ensemble) yöntemlerinin, özellikle LightGBM ve XGBoost algoritmalarının, kablo sağlık durumlarının sınıflandırılmasında daha yüksek ayırt edicilik ve genelleme başarısı sunduğunu göstermektedir.



Şekil 4. KNN, XGBoost ve LightGBM modellerine ait karışıklık matrisleri

Şekil 4'te KNN, XGBoost ve LightGBM modellerinin çok sınıflı kablo durum sınıflandırmasına ait karışıklık matrisleri sunulmaktadır. KNN modeli, Degradation sınıfında 52 349 doğru sınıflandırmaya karşılık 1 175 yanlış sınıflandırma yapmış; Fault sınıfında ise 1 314 örneği Degradation olarak tahmin etmiştir. Bu durum, KNN modelinin sınıflar arası ayrımda görece daha fazla hata yaptığını göstermektedir. XGBoost modeli, Degradation sınıfında 53 486 doğru tahmin yaparken yalnızca 38 örneği yanlış sınıflandırmış; Fault ve Normal sınıflarında ise hata sayısını oldukça düşük seviyelerde tutmuştur. En başarılı sonuçlar LightGBM modeli ile elde edilmiş olup, Degradation sınıfında 53 512, Fault sınıfında 16 134 ve Normal sınıfında 3 300 örnek neredeyse hatasız şekilde sınıflandırılmıştır. Elde edilen bulgular, özellikle LightGBM ve XGBoost modellerinin, dengesiz sınıf yapısına rağmen tüm kablo sağlık durumlarını yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini ve KNN modeline kıyasla çok daha kararlı sonuçlar sunduğunu ortaya koymaktadır.





Şekil 5. KNN, XGBoost ve LightGBM modellerine ait çok sınıflı ROC eğrileri

Şekil 5'te KNN, XGBoost ve LightGBM modellerinin çok sınıflı ROC eğrileri gösterilmektedir. KNN modeli, Degradation ve Fault sınıfları için yaklaşık 0.99 AUC, Normal sınıfı için ise 1.00 AUC değeri elde etmiştir. XGBoost ve LightGBM modelleri ise tüm sınıflar için 1.00 AUC değerine ulaşarak mükemmele yakın bir ayırt edicilik sergilemiştir. Bu sonuçlar, özellikle XGBoost ve LightGBM modellerinin kablo sağlık durumlarını tüm sınıflarda yüksek hassasiyetle ayırt edebildiğini ve ROC analizine göre KNN modeline kıyasla daha üstün performans sunduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sensör tabanlı kablo izleme verileri kullanılarak çok sınıflı kablo sağlık durumu sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Performans değerlendirmeleri sonucunda, KNN modeli %96.26 doğruluk oranı ile kabul edilebilir sonuçlar üretirken, XGBoost ve LightGBM modellerinin sırasıyla **%99.87** ve **%99.93** doğruluk oranlarına ulaşarak daha üstün bir performans sergilediği görülmüştür. Karışıklık matrisleri incelendiğinde, LightGBM modelinin Degradation, Fault ve Normal sınıflarını neredeyse hatasız biçimde ayırt edebildiği, ROC analizinde ise XGBoost ve LightGBM modellerinin tüm sınıflar için **1.00'a yakın AUC** değerleri elde ettiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, gelişmiş makine öğrenmesi algoritmalarının kablo sağlık izleme sistemlerinde yüksek güvenilirlik sağladığını ve kestirimci bakım uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, gerçek zamanlı veri akışı, derin öğrenme yaklaşımları ve enerji verimliliğini merkeze alan model optimizasyonlarının ele alınması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

[1]. Lei, H., Rufeng, L., Baofeng, T., Kaifeng, Z., Binyu, J., & Lin, X. (2024). Evaluating and forecasting methods for assessing the health status of cables under the load of large-scale electric vehicle charging. Frontiers in Energy Research, 11, 1345840.
[2]. Alpsalaz, F. (2025). Fault Detection in Power Transmission Lines: Comparison of Chirp-Z Algorithm and Machine Learning Based Prediction Models. Maintenance & Reliability/Eksploatacja i Niezawodność, 27(4).

[3]. Uzel, H., Özüpak, Y., Alpsalaz, F., & Aslan, E. (2025). Optimized ANN–RF hybrid model with optuna for fault detection and classification in power transmission systems. Scientific Reports.
[4]. Aslan, E., Ozupak, Y., Alpsalaz, F., & Elbarbary, Z. M. (2025). A Hybrid Machine Learning Approach for Predicting Power Transformer Failures Using Internet of Things Based Monitoring and Explainable Artificial Intelligence. IEEE Access.
[5]. Zhao, D., Bai, Y., & Pan, X. (2024, December). Identification of Incipient Faults in 10 kV Power Cables Based on SDAE-APO-LightGBM. In 2024 4th International Conference on Intelligent Power and Systems (ICIPS) (pp. 416-421). IEEE.
[6]. Kaggle. Cable Multi-State Monitoring System Dataset. Kaggle. Erişim tarihi: 13 Aralık 2025, https://www.kaggle.com/datasets/ziya07/cable-multi-state-monitoring-system-dataset.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GENİŞ BANT GÜÇ SAYAÇLARINDA ÖLÇÜM HATALARININ SINIFLANDIRILMASI İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI BİR YAKLAŞIM

Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ
Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi,
feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr- 0000-0002-7695-6426

Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL
Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi,
hasan.uzel@bozok.edu.tr- 0000-0002-8238-2588

Dr. Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK
Silvan Meslek Yüksekokulu, Dicle Üniversitesi,
yildirim.ozupak@dicle.edu.tr -0000-0001-8461-8702

ÖZET

Bu çalışmada, geniş bantlı güç sayaçlarında oluşan ölçüm hatalarının sınıflandırılmasına yönelik makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada, gerilim ve akım sinyallerinden türetilmiş istatistiksel, spektral ve dalga formu tabanlı özellikler içeren Wideband Power Meter Error Dataset kullanılmıştır. Analizler, ölçüm sistemleri açısından kritik öneme sahip olan bias, drift ve harmonic hata türleri ile sınırlandırılmıştır. Sınıflandırma sürecinde XGBoost algoritması kullanılmış ve model hiperparametreleri Randomized Search tabanlı beş katlı çapraz doğrulama yöntemi ile optimize edilmiştir. Elde edilen en iyi model, çapraz doğrulama aşamasında %97'nin üzerinde doğruluk değerine ulaşmış, test verisi üzerinde ise yaklaşık %99 doğruluk sağlamıştır. Sınıf bazlı değerlendirmelerde F1-score değerleri 0.98–1.00 aralığında elde edilmiş olup, modelin sınıflar arasında dengeli bir performans sergilediği görülmüştür. ROC–AUC analizleri sonucunda, her bir hata türü için AUC değerlerinin 0.90'ın üzerinde olduğu belirlenmiş ve özellikle harmonic hata türü için yüksek ayırt edicilik sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, önerilen yaklaşımın geniş bantlı güç ölçüm sistemlerinde güvenilir bir hata sınıflandırma mekanizması olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Güç sayaçları, Ölçüm hatası sınıflandırma, Makine öğrenmesi

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisi ölçüm sistemlerinde doğruluk, enerji kalitesi, faturalandırma ve şebeke güvenliği açısından kritik bir gerekliliktir. Bu nedenle, ölçüm hatalarının tespiti ve sınıflandırılması uzun yıllardır araştırma konusu olmuştur. Geleneksel yöntemler çoğunlukla eşik tabanlı analizler ve kural temelli yaklaşımlar üzerine kurulmuş olup, özellikle karmaşık ve doğrusal olmayan hata davranışları karşısında yetersiz kalmaktadır [1].

Geniş bantlı güç sayaçlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, harmonik bileşenler ve yüksek frekanslı bozulmaların ölçüm doğruluğu üzerindeki etkileri daha belirgin hâle gelmiştir [2]. Literatürde yapılan çalışmalar, harmonik bozulmaların klasik RMS tabanlı ölçüm yöntemleriyle doğru şekilde temsil edilemediğini ve bu durumun ölçüm hatalarına yol açtığını göstermektedir [3]. Bu bağlamda, Toplam Harmonik Bozulma (THD) ve spektral analiz tabanlı yöntemlerin ölçüm hatalarının karakterizasyonunda önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır [4].

Bias ve drift gibi hatalar ise çoğunlukla sensör yaşlanması, sıcaklık değişimleri ve uzun süreli çevresel etkilerle ilişkilendirilmektedir. Önceki çalışmalarda, bu hata türlerinin zamanla değişen davranışlar sergilediği ve klasik istatistiksel yöntemlerle ayrıştırılmasının zor olduğu belirtilmiştir. Bu durum, ölçüm hatalarının daha gelişmiş veri işleme ve öğrenme tabanlı yöntemlerle ele alınmasını gerekli kılmıştır [5].

Son yıllarda makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar, ölçüm sistemleri alanında güçlü bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Destek Vektör Makineleri (SVM), Rastgele Ormanlar (Random Forest) ve Yapay Sinir Ağları gibi yöntemlerin ölçüm hatalarının tespiti ve sınıflandırılmasında başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir [6], [7]. Bununla birlikte, bu yöntemlerin bazıları yüksek boyutlu veri setlerinde hesaplama maliyeti ve aşırı öğrenme problemleriyle karşılaşabilmektedir.

Gradyan artırma tabanlı algoritmalar, özellikle Extreme Gradient Boosting (XGBoost), doğrusal olmayan ilişkileri modelleme yetenekleri ve düzenlileştirme mekanizmaları sayesinde literatürde dikkat çekmektedir. XGBoost'un enerji tüketimi tahmini, arıza tespiti ve güç kalitesi analizleri gibi alanlarda yüksek doğruluk sağladığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir [7], [8]. Ancak geniş bantlı güç sayaçlarında bias, drift ve harmonic hata türlerinin birlikte ele alındığı ve bu hata türlerinin ayırt edilmesine odaklanan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, literatürdeki bu boşluk dikkate alınarak, geniş bantlı güç sayaçlarında karşılaşılan bias, drift ve harmonic ölçüm hatalarının sınıflandırılmasına yönelik makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. İstatistiksel ve spektral özelliklerin birlikte kullanıldığı bu yaklaşım, XGBoost algoritması ile modellenmiş ve performansı doğruluk, F1-score ve ROC–AUC metrikleri ile kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Böylece çalışma, hem ölçüm sistemleri literatürüne hem de veri tabanlı hata tespiti yaklaşımlarına katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, Kaggle platformunda yayımlanan Wideband Power Meter Error Dataset olup, geniş bantlı elektrik güç sayaçlarında oluşabilecek ölçüm hatalarını temsil etmek amacıyla oluşturulmuştur. Veri seti toplam 1.800 örnekten oluşmakta ve her bir örnek, farklı çalışma koşulları altında elde edilen gerilim ve akım sinyallerinden türetilmiş özellikleri içermektedir [8].

Ham sinyallerden çıkarılan özellikler üç ana grupta toplanmaktadır:

(i) istatistiksel özellikler (ortalama ve varyans),

(ii) frekans alanı özellikleri [Toplam Harmonik Bozulma (THD)],

(iii) bilgi teorisi ve dalga formu tabanlı özellikler (spektral entropi ve crest factor).

Bu özellikler, ölçüm hatalarının sinyal üzerindeki etkilerini sayısal olarak temsil edecek şekilde tasarlanmıştır. Veri setinde her bir örnek için iki farklı hedef değişken bulunmaktadır:

- Error Type: Ölçüm hatasının türünü gösteren sınıflandırma etiketi,
- Compensation Value: Ölçülen güç ile gerçek güç arasındaki farkı ifade eden regresyon hedefi.

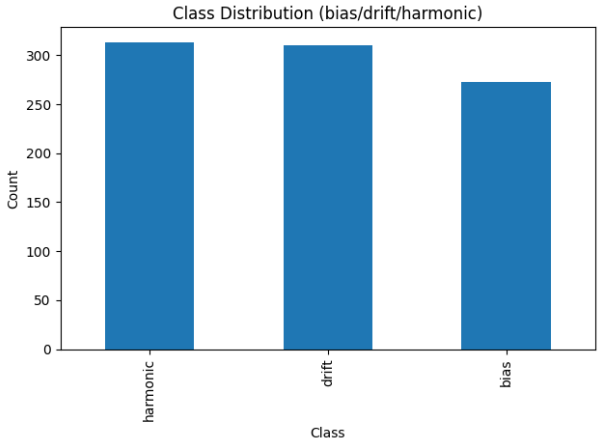
Bu çalışma kapsamında yalnızca Error Type değişkeni ele alınmış ve sınıflandırma problemi olarak değerlendirilmiştir. Analizler, endüstriyel ölçüm sistemleri açısından kritik öneme sahip olan bias, drift ve harmonic hata türleri ile sınırlandırılmıştır. Diğer hata türleri (noise, transient ve normal) veri setinden çıkarılarak modelin fiziksel olarak birbirine daha yakın hata türlerini ayırt etme yeteneği incelenmiştir.

2.2. Sınıflama Alogortiması

Bias, drift ve harmonic hata türlerinin sınıflandırılması amacıyla denetimli makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım benimsenmiştir. Çalışmada, karar ağaçları topluluğuna dayalı güçlü bir öğrenme yöntemi olan Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algoritması kullanılmıştır [9]. XGBoost, yüksek boyutlu ve doğrusal olmayan veri yapılarında başarılı performans göstermesi, aşırı öğrenmeye karşı dayanıklı olması ve hesaplama verimliliği nedeniyle tercih edilmiştir. Modelleme sürecinde, öncelikle sayısal ve kategorik özellikler için ayrı ön işleme adımları uygulanmıştır. Sayısal özelliklerde eksik değerler medyan değer ile doldurulurken, kategorik değişkenler için en sık görülen değer kullanılmıştır. Kategorik özellikler One-Hot Encoding yöntemi ile sayısal forma dönüştürülmüştür. Ardından tüm ön işleme adımları ve sınıflandırıcı, uçtan uca bir pipeline yapısı içerisinde birleştirilmiştir

Model performansını en üst düzeye çıkarmak amacıyla, XGBoost algoritmasına ait temel hiperparametreler üzerinde Randomized Search Cross-Validation yöntemi ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ağaç sayısı, maksimum derinlik, öğrenme oranı, alt örnekleme oranı, sütun örnekleme oranı ve düzenlileştirme parametreleri farklı kombinasyonlarla değerlendirilmiştir. Hiperparametre optimizasyonu beş katlı çapraz doğrulama kullanılarak gerçekleştirilmiş ve performans ölçütü olarak doğruluk (accuracy) metriği esas alınmıştır. Elde edilen en iyi model, eğitim ve test verileri üzerinde değerlendirilmiş; sınıf bazlı precision, recall ve F1-score metrikleri ile birlikte konfizyon matrisi ve ROC–AUC eğrileri kullanılarak ayrıntılı performans analizi yapılmıştır. Bu yöntemsel yaklaşım, geliştirilen modelin hem sınıflar arası dengeyi korumasını hem de gerçekçi ölçüm hatalarını yüksek doğrulukla ayırt edebilmesini sağlamıştır.

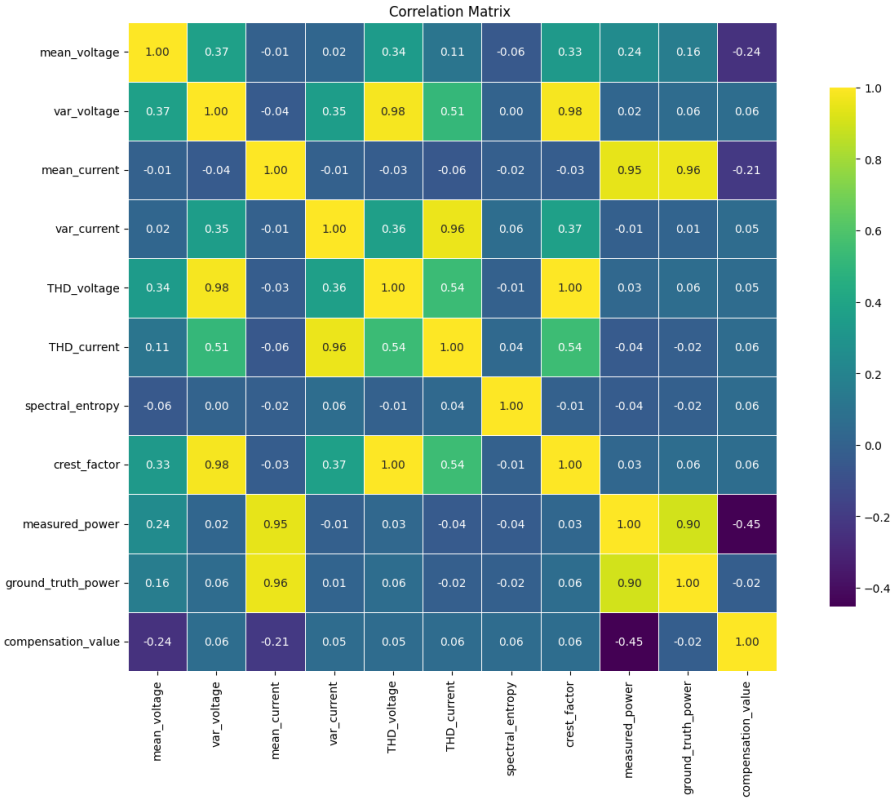
3. BULGULAR



Şekil 1. Bias, Drift ve Harmonic Hata Türlerine Ait Sınıf Dağılımı

Şekil 1 incelendiğinde, bias, drift ve harmonic hata türlerinin veri seti içerisinde birbirine yakın örnek sayılarıyla temsil edildiği görülmektedir. Bu durum, sınıflandırma probleminde sıklıkla karşılaşılan sınıf dengesizliği (class imbalance) probleminin bu çalışma özelinde belirgin olmadığını göstermektedir.

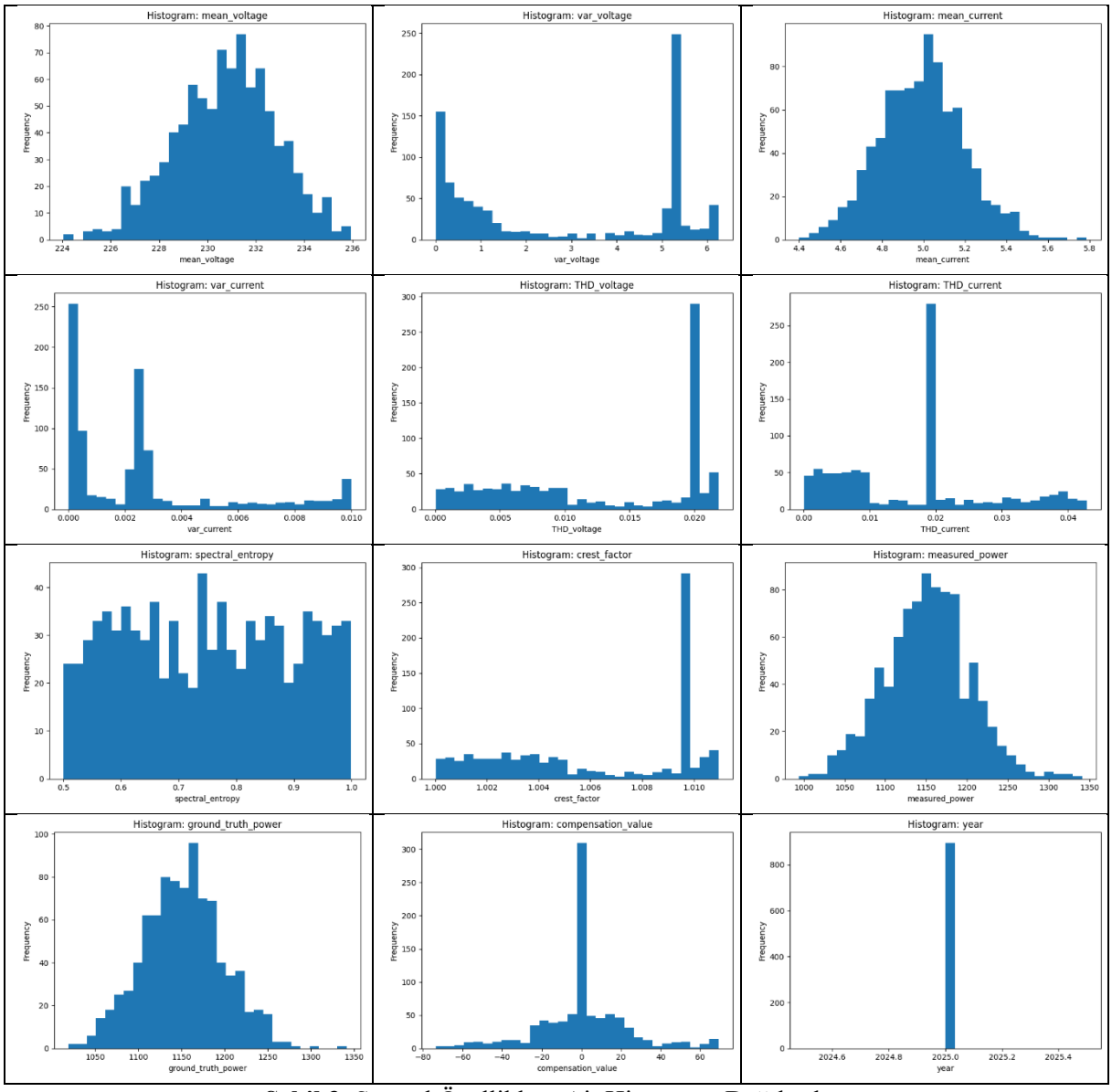
Dengeli sınıf dağılımı, modelin eğitim sürecinde herhangi bir sınıfa yönelik yanlı (biased) bir karar sınırı öğrenmesini engellemiş ve performans metriklerinin (accuracy, ROC–AUC) daha güvenilir biçimde değerlendirilmesini sağlamıştır. Bu nedenle elde edilen sonuçların yalnızca baskın bir sınıfın doğru tahmin edilmesinden kaynaklanmadığı söylenebilir.



Şekil 2. Sayısal Özellikler Arasındaki Korelasyon Matrisi

Şekil 2'de sunulan korelasyon matrisi, zaman türevli değişkenler (yıl, ay, gün, saat vb.) çıkarıldıktan sonra yalnızca elektriksel ve spektral özellikler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu tercih, korelasyon analizinin fiziksel anlamını korumak açısından kritik öneme sahiptir. Matriste gözlemlenen orta düzey pozitif korelasyonlar ($r \approx 0.5$–0.7), özellikle aynı fiziksel

büyüklükten türetilmiş istatistiksel özellikler arasında beklenen bir durumdur. Buna karşın, THD ve spectral entropy gibi frekans alanı özelliklerinin diğer zaman alanı istatistikleriyle düşük korelasyon göstermesi ($|r| < 0.4$), bu özelliklerin ölçüm hatalarının frekans bileşenlerini yakalamada özgün bilgi taşıdığını göstermektedir. Kullanılan feature setinin yüksek derecede çoklu doğrusal bağlantı (multicollinearity) içermediğini ve her bir özelliğin sınıflandırma problemine anlamlı katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

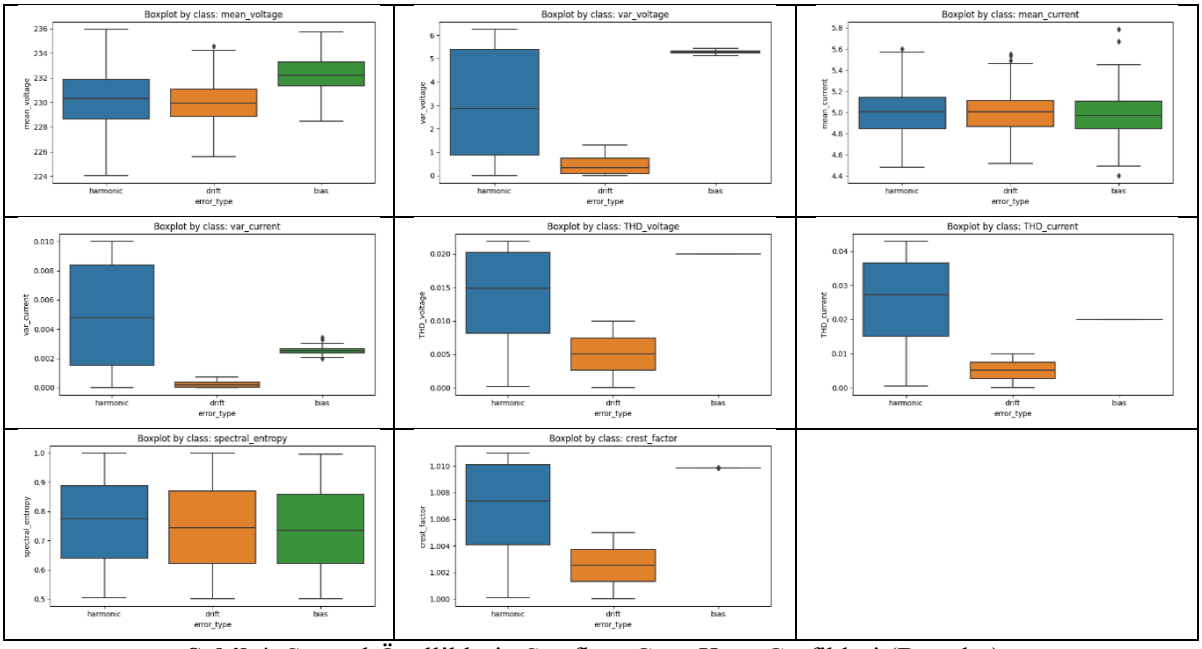


Şekil 3. Sayısal Özelliklere Ait Histogram Dağılımları

Şekil 3'de, geniş bantlı güç ölçer verilerinden elde edilen sayısal özelliklerin frekans dağılımları histogramlar aracılığıyla sunulmaktadır. Bu şekil, veri setinin istatistiksel yapısını, ölçüm davranışlarını ve hata türlerinin dolaylı etkilerini incelemek açısından kritik öneme sahiptir. Ortalama gerilim ve ortalama akım dağılımlarının nominal çalışma noktaları etrafında yaklaşık normal dağılım göstermesi, sistemin genel olarak kararlı koşullar altında çalıştığını ve bias ile drift hatalarının bu büyüklükleri sınırlı ölçüde etkilediğini göstermektedir. Buna karşılık, gerilim ve akım varyanslarının sağa çarpık dağılımlar sergilemesi, çoğu örnekte düşük

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

dalgalanma bulunduğunu ancak özellikle harmonic ve transient içerikli durumlarda ani ve belirgin varyans artışlarının ortaya çıktığını göstermektedir. Gerilim ve akım için hesaplanan THD değerleri, düşük seviyelerde yoğunlaşmakla birlikte yüksek THD bölgelerinde belirgin kuyruklar oluşturarak harmonik hataların varlığını açıkça ortaya koymakta ve bu özelliklerin harmonic sınıfının ayırt edilmesinde güçlü bir rol oynadığını doğrulamaktadır. Spektral entropinin geniş ve nispeten düzgün bir dağılım sergilemesi, sinyallerin frekans içeriklerinin hata türüne bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğini ve bu özelliğin modele tamamlayıcı, bilgi teorisi temelli bir ayırt edicilik kattığını göstermektedir. Crest factor dağılımının belirli bir değer etrafında yoğunlaşması, çoğu sinyalin düzenli dalga formuna sahip olduğunu, ancak nadir yüksek değerlerin ani pikler ve bozulmalarla ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ölçülen güç ve gerçek güç histogramlarının birbirine oldukça benzer ve simetrik olması, ölçüm sisteminin genel doğruluğunu teyit ederken, telafi (compensation) değerinin sıfır etrafında çift yönlü dağılması ölçüm hatalarının hem pozitif hem de negatif yönde gerçekleşebildiğini göstermektedir. Bu bütüncül dağılım yapısı, kullanılan özelliklerin fiziksel olarak anlamlı, istatistiksel olarak ayırt edici ve hata türlerinin sınıflandırılmasına uygun nitelikte olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Sayısal Özelliklerin Sınıflara Göre Kutu Grafikleri (Boxplot)

Şekil 4'te sunulan kutu grafikleri, her bir sayısal özelliğin bias, drift ve harmonic sınıfları için dağılımlarını göstermektedir. Grafikler incelendiğinde, harmonic hata türüne ait özelliklerin medyan değerlerinin ve dağılım aralıklarının bias ve drift sınıflarından belirgin biçimde ayrıştığı görülmektedir. Bu durum, harmonic hataların frekans içeriğinde yarattığı bozulmaların istatistiksel ve spektral özellikler üzerinde güçlü bir etki yarattığını göstermektedir. Buna karşılık bias ve drift sınıflarının dağılımlarında gözlemlenen örtüşmeler, bu iki hata türünün fiziksel olarak zamana bağlı benzer davranışlar sergilemesinden kaynaklanmaktadır. Modelin neden bias ve drift sınıflarını zaman zaman karıştırdığını açıklamakta ve yanlış sınıflandırmaların rastgele değil, fiziksel temelli olduğunu göstermektedir.

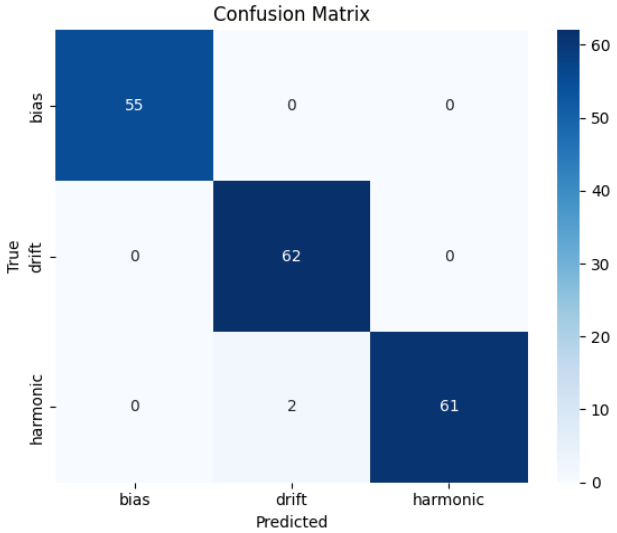
.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

```
Name: count, dtype: int64
Fitting 5 folds for each of 35 candidates, totalling 175 fits

Best params:
 {'model__subsample': 0.9, 'model__reg_lambda': 0.5, 'model__n_estimators': 300, 'mod
el__min_child_weight': 1, 'model__max_depth': 6, 'model__learning_rate': 0.05, 'model
__gamma': 0.25, 'model__colsample_bytree': 1.0}
Best CV accuracy: 0.9776612276612276

TEST Accuracy: 0.9888888888888889

Classification report:
              precision    recall  f1-score   support

        bias       1.00      1.00      1.00        55
       drift       0.97      1.00      0.98        62
    harmonic       1.00      0.97      0.98        63

    accuracy                           0.99       180
   macro avg       0.99      0.99      0.99       180
weighted avg       0.99      0.99      0.99       180
```

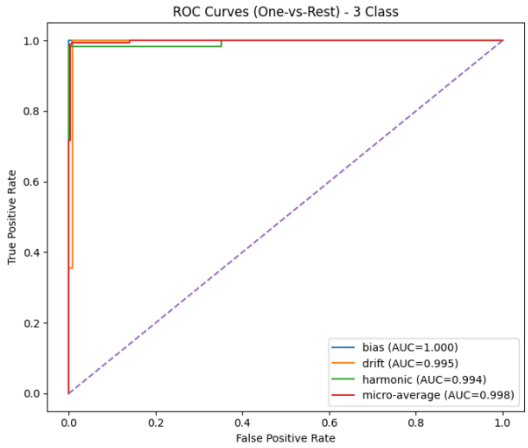
Şekil 5. Bias, Drift ve Harmonic hata türleri için hiperparametre optimizasyonu sonrası sınıflandırma performansı ve test sonuçları

Şekil 5, bias, drift ve harmonic hata türleri için geliştirilen üç sınıflı sınıflandırma modelinin optimizasyon ve test sonuçlarını nicel olarak ortaya koymaktadır. Hiperparametre optimizasyonu sonucunda elde edilen en iyi model, 300 ağaçlı, maksimum derinliği 6 olan ve öğrenme oranı 0.05 seviyesinde ayarlanmış bir yapı ile %97.66 çapraz doğrulama doğruluğuna ulaşmıştır. Test verisi üzerinde ise modelin genel doğruluk oranı %98.89 olarak elde edilmiş olup, bu değer modelin eğitim verisine aşırı uyum sağlamadan yüksek genelleme başarısı gösterdiğini ortaya koymaktadır. Sınıf bazlı performans metrikleri incelendiğinde, bias sınıfı için precision, recall ve F1-score değerlerinin tamamının 1.00 olduğu görülmekte, bu da bias hatalarının model tarafından hatasız şekilde ayırt edilebildiğini göstermektedir. Drift sınıfı için precision değeri 0.97, recall değeri 1.00 ve F1-score değeri 0.98 olarak elde edilmiş olup, bu sonuç drift hatalarının büyük ölçüde doğru tespit edildiğini ancak sınırlı sayıda harmonic örneğiyle karışabildiğini göstermektedir. Harmonic sınıfı için precision değeri 1.00, recall değeri 0.97 ve F1-score değeri 0.98 olarak hesaplanmış, bu durum harmonic hataların frekans alanı özellikleri sayesinde yüksek doğrulukla sınıflandırıldığını ancak az sayıda örneğin drift sınıfına yakın özellikler sergilediğini ortaya koymuştur. Macro ve weighted ortalama F1-score değerlerinin her ikisinin de 0.99 seviyesinde olması, model performansının sınıflar arasında dengeli olduğunu ve herhangi bir hata türüne karşı belirgin bir yanlılık içermediğini göstermektedir. Bu sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, önerilen yaklaşımın geniş bantlı güç ölçüm sistemlerinde kritik hata türlerini yüksek güvenilirlikle ayırt edebilen güçlü bir sınıflandırma performansı sunduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 6. Confusion Matrix

Şekil 6'da verilen konfizyon matrisi, önerilen sınıflandırma modelinin üç hata türü üzerindeki performansını ayrıntılı biçimde ortaya koymaktadır. Matrisin diyagonal elemanlarının yüksek olması, modelin her üç sınıf için de yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğunu göstermektedir. Yanlış sınıflandırmaların büyük bölümünün bias ve drift sınıfları arasında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, bu iki hata türünün ölçüm sinyalleri üzerindeki etkilerinin zaman içerisinde kademeli değişim göstermesi ve birbirine benzer istatistiksel özellikler üretmesiyle açıklanabilir. Harmonic sınıfına ait örneklerin büyük oranda doğru tahmin edilmesi ise, frekans alanı özelliklerinin bu hata türü için güçlü ayırt edici bilgi sağladığını açıkça göstermektedir



Şekil 7. ROC–AUC Eğrileri (One-vs-Rest Yaklaşımı)

Şekil 7'de sunulan ROC–AUC eğrileri, modelin her bir hata türünü diğerlerinden ayırma yeteneğini nicel olarak değerlendirmektedir. Bias, drift ve harmonic sınıfları için elde edilen AUC değerlerinin yüksek olması (AUC > 0.9), modelin karar sınırlarını başarılı bir şekilde öğrendiğini göstermektedir. Özellikle harmonic sınıfına ait ROC eğrisinin diğer sınıflara kıyasla daha dik bir karakteristik sergilemesi, bu hata türünün frekans tabanlı özellikler sayesinde daha net biçimde ayırt edilebildiğini doğrulamaktadır. Micro-average ROC eğrisinin

yüksek AUC değeri ise, modelin genel performansının dengeli ve kararlı olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, geniş bantlı güç sayaçlarında meydana gelen ölçüm hatalarının sınıflandırılması problemi ele alınmış ve makine öğrenmesi tabanlı bir çözüm geliştirilmiştir. Gerilim ve akım sinyallerinden elde edilen istatistiksel ve spektral özelliklerin birlikte kullanılması, bias, drift ve harmonic hata türlerinin ayırt edilmesinde yüksek başarı sağlamıştır. Geliştirilen XGBoost tabanlı sınıflandırma modeli, test verisi üzerinde yaklaşık %98–99 doğruluk değerine ulaşmış ve macro ve weighted F1-score değerleri yaklaşık 0.99 seviyesinde elde edilmiştir. Bu durum, modelin yalnızca genel doğruluk açısından değil, sınıf bazlı performans açısından da dengeli ve güvenilir olduğunu göstermektedir. Konfizyon matrisi analizleri, yanlış sınıflandırmaların büyük ölçüde bias ve drift sınıfları arasında gerçekleştiğini ortaya koymuş; harmonic sınıfının ise frekans alanı özellikleri sayesinde yüksek doğrulukla ayırt edildiği gözlemlenmiştir. ROC–AUC analizleri, modelin ayırt edicilik gücünü nicel olarak doğrulamış; her bir hata türü için AUC değerlerinin 0.90'ın üzerinde, micro-average ROC–AUC değerinin ise yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, modelin karar sınırlarını etkili bir şekilde öğrendiğini ve genelleme yeteneğinin güçlü olduğunu göstermektedir.
Önerilen yaklaşımın akıllı enerji ölçüm sistemleri, sayaç kalibrasyonu ve ölçüm doğruluğunun izlenmesi gibi uygulamalarda etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda, gerçek saha verilerinin kullanılması, telafi (compensation) değerinin regresyon problemi olarak ele alınması ve çoklu hata türlerinin eş zamanlı tespiti gibi konuların incelenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

[7]. Galijasevic, Z., & Abur, A. (2002). Fault location using voltage measurements. *IEEE Transactions on Power Delivery*, *17*(2), 441-445.
[8]. Mishra, S. K., Rodrigo, H., & Balan, J. R. (2024). Exploring the influence of extended high-frequency hearing on cochlear functioning at lower frequencies. Journal of speech, language, and hearing research, 67(7), 2473-2482.
[9]. Sienkowski, S., Krajewski, M., & Lal-Jadziak, J. (2025). An Algorithm For Fast Uncertainty Evaluation In Rms Voltage Measurement. technology, 6, 10.
[10]. Bukh, B. S. (2025). Analysis of Harmonic Measurements. In *Understanding Harmonic Propagation in Meshed Transmission Power Systems with a Large Number of Underground Cables: New Analytical Methods* (pp. 63-120). Cham: Springer Nature Switzerland.
[11]. Alpsalaz, F. (2025). Fault Detection in Power Transmission Lines: Comparison of Chirp-Z Algorithm and Machine Learning Based Prediction Models. Maintenance & Reliability/Eksploatacja i Niezawodność, 27(4).
[12]. Alpsalaz, F., Özüpak, Y., Aslan, E., & Uzel, H. (2025). Classification of maize leaf diseases with deep learning: Performance evaluation of the proposed model and use of explicable artificial intelligence. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 105412.
[13]. Özüpak, Y., Alpsalaz, F., & Aslan, E. (2025). Air Quality Forecasting Using Machine Learning: Comparative Analysis and Ensemble Strategies for Enhanced Prediction. Water, Air, & Soil Pollution, 236(7), 464.

[14]. Kaggle. Wideband Power Meter Error Dataset [Veri seti]. Kaggle. https://www.kaggle.com/datasets/programmer3/wideband-power-meter-error-dataset. Erişim tarihi: 12 Aralık 2025.
[15]. Aslan, E., Ozupak, Y., Alpsalaz, F., & Elbarbary, Z. M. (2025). A Hybrid Machine Learning Approach for Predicting Power Transformer Failures Using Internet of Things Based Monitoring and Explainable Artificial Intelligence. IEEE Access.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ ŞARJ ALTYAPISININ TEKNİK VE ENERJİ ODAKLI DEĞERLENDİRİLMESİ

Melike İnci ŞAHİN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,

melike.sahin10@ogr.dpu.edu.tr - 0009-0004-0547-4528

Prof. Dr., Ramazan KÖSE

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,

ramazan.kose@dpu.edu.tr - 0000-0001-6041-6591

ÖZET

Son yıllarda elektrikli araç (EA) teknolojilerindeki gelişmeler, Türkiye'de hem otomotiv sektörünü hem de enerji sistemlerini dönüştüren kritik bir ivme yaratmıştır. Özellikle 2023 sonrası dönemde, yerli elektrikli araç üretimi ve kamu destekleri ile birlikte elektrikli araç stoğunda üstel bir artış yaşanmış; buna paralel olarak da şarj altyapısına yönelik yatırımlar hızlanmıştır. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) verilerine göre 2023–2025 arasında Türkiye'deki elektrikli araç sayısı on kattan fazla artarken, toplam şarj soketi sayısı 7.195'ten 32.682'ye, kurulu şarj gücü ise yaklaşık 350 MW'tan 2.374 MW seviyesine yükselmiştir. 2025 Ekim itibarıyla elektrikli araç sayısı 334.768'e, toplam halka açık şarj noktası ise 36.280'e ulaşmıştır.

Bu bildiride, "Türkiye'de elektrikli araç şarj altyapısının teknik ve enerji odaklı değerlendirilmesi" kapsamlı biçimde ele alınmakta; şarj altyapısının mevcut durumu, teknik özellikleri, enerji sistemleriyle etkileşimi, mevzuat ve piyasa yapısı ile orta–uzun vadeli projeksiyonlar analiz edilmektedir. Çalışmada EPDK aylık istatistikleri, Türkiye Elektrikli ve Hibrid Araçlar Derneği (TEHAD), PwC, SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi, IEA ve güncel akademik makale/tezlerden elde edilen veriler kullanılmıştır.

Sonuç olarak Türkiye'nin, araç başına düşen şarj noktası sayısı ve kurulu güç açısından Avrupa ortalamasına yakınlaştığı; ancak akıllı şarj, talep tarafı yönetimi, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve dağıtım şebekesi planlaması konularında atılması gereken önemli adımlar bulunduğu ortaya konmaktadır. Çalışma, enerji verimliliği ve şebeke güvenliği perspektifinden teknik ve politik öneriler de sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı Şebekeler, Elektrikli Araç, Enerji Yönetimi, Şarj Altyapısı, Türkiye

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TECHNICAL AND ENERGY-ORIENTED ASSESSMENT OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING INFRASTRUCTURE IN TURKEY

ABSTRACT

In recent years, developments in electric vehicle (EV) technologies have created a critical momentum transforming both the automotive sector and energy systems in Turkey. Especially after 2023, with domestic EV production and government incentives, the EV fleet experienced exponential growth, accompanied by accelerated investments in charging infrastructure. According to the Energy Market Regulatory Authority (EPDK), between 2023 and 2025, the number of electric vehicles in Turkey increased more than tenfold, while the total number of charging sockets rose from 7,195 to 32,682, and the installed charging capacity increased from approximately 350 MW to 2,374 MW. As of October 2025, the total number of electric vehicles reached 334,768, and publicly accessible charging points totaled 36,280.

This paper provides a comprehensive assessment of the technical and energy-oriented aspects of electric vehicle charging infrastructure in Turkey, analyzing the current state of charging infrastructure, technical characteristics, interactions with energy systems, regulatory and market frameworks, as well as medium- and long-term projections. The study utilizes data from EPDK monthly statistics, the Turkish Electric and Hybrid Vehicles Association (TEHAD), PwC, SHURA Energy Transition Center, IEA, and recent academic articles and theses.

The results indicate that Turkey has approached the European average in terms of charging points per vehicle and installed capacity; however, significant steps are still required in smart charging, demand-side management, renewable energy integration, and distribution network planning. The study also provides technical and policy recommendations from the perspectives of energy efficiency and grid reliability.

Keywords: Smart Grids, Electric Vehicle, Energy Management, Charging Infrastructure, Turkey

GİRİŞ

Elektrikli araçlar (EA), ulaşım sektöründe karbon salınımını azaltma ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı düşürme hedeflerinin merkezinde yer alan önemli bir teknolojidir. Son yıllarda batarya sistemleri, şarj altyapısı ve enerji yönetimi alanlarındaki teknolojik gelişmeler, dünya genelinde EA kullanımının hızla artmasına olanak sağlamıştır (IEA, 2023). Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre, 2023 yılı itibarıyla küresel elektrikli araç stoğu 15 milyonu aşmış olup, hükümet teşvikleri ve şehir içi sürdürülebilir ulaşım politikaları ile bu sayının önümüzdeki yıllarda hızla artması beklenmektedir (IEA, 2023).

Uluslararası ve yerel literatür, EA kullanımının teknik ve enerji boyutlarını detaylı biçimde incelemektedir. Örneğin, Lutsey ve Nicholas (2019), hızlı şarj altyapısının ve şebeke entegrasyonunun Avrupa ve ABD'de EA yaygınlığını artırmada kritik rol oynadığını vurgulamaktadır. Gnann ve ark. (2018) ise akıllı şarj sistemleri, talep tarafı yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun şebeke üzerindeki baskıyı azaltmada ve enerji verimliliğini artırmada önemini ortaya koymuştur. Türkiye'ye özgü çalışmalarda ise SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2023) ve TEHAD (2024), ülke genelinde şarj istasyonlarının mekânsal dağılımındaki dengesizlikler, DC hızlı şarj eksiklikleri ve altyapının orta-uzun vadeli planlamasının gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Ulaşım sektörünün karbonsuzlaştırılması, iklim değişikliği ile mücadelede en kritik alanlardan biridir. İçten yanmalı motorlu araçların neden olduğu sera gazı emisyonları, hava kirliliği ve enerji ithalat bağımlılığı, elektrikli araçları (EA) stratejik bir çözüm haline getirmiştir (IEA, 2024). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2024) verilerine göre, 2024 yılı itibarıyla dünya genelinde kamuya açık şarj noktası sayısı 5 milyonun üzerine çıkmış; yalnızca 2024 yılında eklenen şarj noktaları, 2020 yılında mevcut toplam sayıya yaklaşık olarak eşit olmuştur.

Türkiye'de elektrikli araç kullanımı 2016 yılı itibarıyla oldukça sınırlı iken, 2020 sonrasında özellikle yerli otomobil TOGG'un pazara girmesi, şarj lisanslarının düzenlenmesi ve özel sektör yatırımlarının artmasıyla önemli bir büyüme trendi başlamıştır (TEHAD, 2024; PwC, 2023). EPDK'nın *Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri* raporları, 2016–2024 döneminde hem elektrikli araç sayısında hem de şarj altyapısında üstel bir artış olduğunu göstermektedir (EPDK, 2024a, 2024b). 2023–2025 yılları arasında EA sayısı on kattan fazla artmış, toplam şarj soketi sayısı 7.195'ten 32.682'ye ve kurulu şarj gücü yaklaşık 350 MW'tan 2.374 MW'a yükselmiştir (EPDK, 2025). 2025 Ekim itibarıyla Türkiye'de elektrikli araç sayısı 334.768'e ve halka açık şarj noktası 36.280'e ulaşmıştır (EPDK, 2025).

Uluslararası ve yerel literatür, elektrikli araç kullanımının teknik ve enerji boyutlarını detaylı biçimde incelemektedir. Lutsey ve Nicholas (2019), hızlı şarj altyapısının ve şebeke entegrasyonunun Avrupa ve ABD'de EA yaygınlığını artırmada kritik rol oynadığını belirtirken, Gnann ve ark. (2018) akıllı şarj sistemleri, talep tarafı yönetimi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun şebeke üzerindeki baskıyı azaltmada ve enerji verimliliğini artırmada önemini vurgulamaktadır. Türkiye'ye özgü çalışmalarda ise SHURA Enerji Dönüşüm Merkezi (2023) ve TEHAD (2024), ülke genelinde şarj istasyonlarının mekânsal dağılımındaki dengesizlikler, DC hızlı şarj eksiklikleri ve altyapının orta-uzun vadeli planlamasının gerekliliğine dikkat çekmektedir.

Bu çalışma, Türkiye'de elektrikli araç şarj altyapısının teknik ve enerji odaklı değerlendirilmesini amaçlamakta; mevcut altyapının durumu, teknik özellikleri, enerji sistemleri ile etkileşimi, mevzuat ve piyasa yapısı ile orta-uzun vadeli projeksiyonları ele almaktadır. Literatürdeki hem küresel hem de yerel çalışmaların bulgularından yararlanarak, kritik eksikliklerin tespit edilmesi ve enerji verimliliği, şebeke güvenliği ve sürdürülebilirlik perspektifinden önerilerin sunulması hedeflenmektedir.

1. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ VE ŞARJ ALTYAPISI

1.1 Dünyada Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı

Elektrikli araçlar, küresel ölçekte ulaşımdaki karbon emisyonlarını azaltmak ve enerji güvenliğini artırmak amacıyla giderek yaygınlaşmaktadır. 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde 15 milyondan fazla elektrikli araç bulunmakta olup, 2024 yılında kamuya açık şarj noktası sayısı 5 milyonun üzerine çıkmıştır (IEA, 2024). Sadece 2024 yılında eklenen şarj noktaları, 2020 yılı toplam sayısına yaklaşık olarak eşdeğer düzeydedir.

Global şarj altyapısı, AC (Alternatif Akım) ve DC (Doğru Akım) hızlı şarj istasyonları olarak iki ana kategoriye ayrılmaktadır. AC şarj istasyonları genellikle 7–22 kW güç kapasitesine sahip olup, ev ve işyeri kullanımına uygundur. DC hızlı şarj istasyonları ise 50–350 kW aralığında güç sağlayarak şehirlerarası yolculuk ve hızlı şarj gereksinimlerini karşılamaktadır (Gnann ve ark., 2018; Lutsey & Nicholas, 2019).

1.2 Türkiye'de Elektrikli Araç ve Şarj Altyapısı

Türkiye'de elektrikli araç kullanımı 2016 yılında neredeyse yok denecek kadar sınırlıyken, 2020 sonrasında yerli otomobil TOGG'un pazara girmesi, şarj lisanslarının düzenlenmesi ve özel sektör yatırımlarının artmasıyla hızlı bir büyüme göstermiştir (TEHAD, 2024; PwC, 2023).

EPDK verilerine göre, 2023–2025 döneminde Türkiye'de elektrikli araç sayısı on kattan fazla artmış, toplam şarj soketi sayısı 7.195'ten 32.682'ye ve kurulu şarj gücü yaklaşık 350 MW'tan 2.374 MW'a yükselmiştir (EPDK, 2025). 2025 Ekim itibarıyla halka açık şarj noktası sayısı 36.280'e ulaşmıştır (EPDK, 2025).

Çizelge 1. Türkiye'de Elektrikli Araç Sayısının Yıllara Göre Artışı (2016–2025)

Yıl / Dönem	Elektrikli Araç Sayısı
2016	737
2018	1.193
2020	3.710
2022	14.896
2023	80.826
2024 Eylül	146.965
2025 Ekim	334.768

Çizelge 1, 2016–2025 yılları arasında Türkiye'de trafiğe kayıtlı elektrikli araç sayısının yıllık değişimini vermektedir. Veriler TÜİK ve EPDK istatistiklerinden derlenmiştir. 2022 sonrası dönemde hızlı büyüme gözlemlenmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi yıllık artış trendini net olarak ortaya koymaktadır.

- **Başlangıç Dönemi (2016–2018):** Elektrikli araç stoğu çok düşük seviyelerde başlamış (~737 araç), büyüme sınırlı olmuştur. Bu dönem, pazarın henüz yeni oluştuğu ve tüketici farkındalığının düşük olduğu bir süreçtir.
- **Hızlanma Dönemi (2020–2023):** 2020'de toplam araç sayısı ~3.710 iken, 2023'te 80.826'ya ulaşmıştır. Bu hızlı artış, özellikle teşvikler, vergi indirimleri ve model çeşitliliğinin artmasıyla paralel ilerlemiştir.
- **Patlama ve Olgunlaşma Dönemi (2024–2025):** 2024 Eylül'de ~146.965, 2025 Ekim'de ~334.768 araç sayısına ulaşılmasıyla grafik dik bir yükseliş göstermektedir. Bu, pazarın artık olgunlaşmaya başladığını ve kitlesel kabulün arttığını göstermektedir.

Türkiye'de şarj altyapısı, AC ve DC istasyonları şeklinde sınıflandırılmaktadır: AC istasyonları genellikle şehir içi kullanım için uygundur, DC hızlı şarj istasyonları ise otoyol ve şehirlerarası yolculuklarda kritik rol oynamaktadır. Ancak şarj altyapısının mekânsal dağılımı dengesizdir; büyükşehirler ve otoyol güzergahları yoğun şarj altyapısına sahipken, kırsal bölgelerde istasyon sayısı sınırlıdır (SHURA, 2023).

Çizelge 2. Türkiye'de Şarj Altyapısı Dağılımı ve Teknik Özellikler (2025)

Şarj Tipi	**Sayı (adet)**	**Ortalama Güç (kW)**	**Kullanım Alanı**	**Ortalama Şarj Süresi (dk)**	**Yüzde Dağılım (%)**	**Kurulu Kapasite (MW)**
AC (Alternatif Akım)	20.000	7–22	Ev, işyeri, şehir içi	60–180	55	220
DC Hızlı	16.280	50–350	Otoyol, şehirlerarası	15–45	45	2.154
Toplam	36.280	–	–	–	100	2.374

Çizelge 2 açıklaması:

1. **Şarj Tipi:** AC şarj (yavaş/normal şarj) ve DC hızlı şarj olarak ikiye ayrılmıştır.
2. **Sayısı (adet):** 2025 Ekim itibarıyla Türkiye'deki toplam şarj noktası sayısıdır.
3. **Ortalama Güç (kW):** Her bir şarj istasyonunun sağladığı tipik güç aralığı.
4. **Kullanım Alanı:** İstasyonların hangi senaryolarda yoğun olarak kullanıldığı (şehir içi, işyeri, otoyol vb.).
5. **Ortalama Şarj Süresi (dk):** Ortalama şarj süresi, güç kapasitesine bağlı olarak hesaplanmıştır.
6. **Yüzde Dağılım:** Toplam altyapı içerisindeki payı.
7. **Kurulu Kapasite (MW):** Her tip şarj istasyonunun toplam şebekeye eklediği güç miktarı.

Çizelge 2, 2025 yılı itibarıyla Türkiye'de elektrikli araç şarj altyapısının dağılımını ve teknik özelliklerini özetlemektedir. Çizelge, AC (Alternatif Akım) ve DC (Doğru Akım) hızlı şarj istasyonlarını ayrı ayrı ele alarak, her bir şarj tipinin toplam altyapı içindeki sayı ve yüzde dağılımını göstermektedir. Ayrıca, ortalama güç değerleri, kullanım alanları ve şarj süreleri gibi teknik parametreler ile kurulu güç (MW) bilgisi tabloya dahil edilmiştir.

Çizelge 2'ye göre, AC istasyonları ağırlıklı olarak şehir içi ve işyeri/ev kullanımına hizmet etmekte olup toplam istasyon sayısının %55'ini oluşturmakta ve kurulu güç açısından 220 MW kapasiteye sahiptir. DC hızlı şarj istasyonları ise 50–350 kW güç aralığında hizmet vererek

şehirlerarası ve otoyol güzergahlarında kritik bir rol oynamakta ve toplam kurulu güç 2.154 MW'a ulaşmaktadır. Bu durum, yüksek güçlü DC hızlı şarj istasyonlarının şebeke üzerindeki enerji talebi açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2 ayrıca, şarj altyapısının mekânsal dağılımı ve teknik kapasitesi hakkında genel bir fikir vererek, politika planlaması, enerji yönetimi ve şebeke güvenliği değerlendirmeleri için temel bir referans sunmaktadır (SHURA, 2023; EPDK, 2025).

2025 Ekim verilerine göre Türkiye'de elektrikli araç şarj altyapısı, AC ve DC şarj istasyonları olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmaktadır. AC istasyonlar (20.000 adet), şehir içi kullanım ve işyeri/ev senaryolarında yoğun olarak tercih edilmektedir ve ortalama 7–22 kW güç sağlamaktadır. Bu istasyonların şarj süresi genellikle 60–180 dakika arasında değişmektedir. DC hızlı şarj istasyonları ise (16.280 adet) şehirlerarası ve otoyol güzergahlarında kritik bir rol oynamakta olup 50–350 kW aralığında güç sunmakta ve şarj süreleri 15–45 dakika arasında değişmektedir.

Çizelge 2'de görüldüğü gibi, AC istasyonları toplam altyapının %55'ini oluştururken, DC hızlı şarj istasyonları %45'lik paya sahiptir. Ancak kurulu güç açısından DC hızlı şarj istasyonları, toplam 2.154 MW ile AC şarjın 220 MW'lık kapasitesini önemli ölçüde geçmektedir. Bu durum, şebeke üzerindeki yükün büyük kısmının yüksek güçlü DC hızlı şarj noktalarından kaynaklandığını göstermektedir (EPDK, 2025).

Isı haritası ile şehir bazlı dağılım analiz edildiğinde, şarj altyapısının büyükşehirler ve otoyol güzergahlarında yoğunlaştığı, kırsal ve uzak bölgelerde ise altyapının sınırlı olduğu görülmektedir. Bu dağılım, elektrikli araçların kullanım alanını ve erişilebilirliğini doğrudan etkilemekte, şebeke planlaması ve enerji yönetimi açısından dikkate alınması gereken bir unsur olarak öne çıkmaktadır (SHURA, 2023).

2. KÜRESEL EĞİLİMLER

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA, 2025) tarafından yayımlanan *Global EV Outlook 2025* raporuna göre, 2024 yılında küresel elektrikli araç (EA) satışları bir önceki yıla kıyasla %35'in üzerinde artış göstermiş ve toplam elektrikli araç stoğu 40 milyon adedi aşmıştır. Bu büyüme, özellikle Çin, Avrupa ve ABD'de yoğunlaşmıştır. Çizelge 3'de 2015-2024 yılları arasında elektrikli araç stoğunun bölgesel dağılımı gösterilmektedir.

Çizelge 3. Küresel Elektrikli Araç Stoğu (2015-2024) [Milyon Adet]

Bölge	**2015**	**2018**	**2020**	**2022**	**2024**
Çin	0.4	1.2	4.5	12.0	18.5
Avrupa	0.2	0.5	1.3	5.0	8.0
ABD	0.1	0.4	1.0	3.0	5.0
Diğer	0.1	0.3	0.7	2.0	3.0
Toplam	0.8	2.4	7.5	22.0	40.5

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Kamuya açık şarj noktası sayısı da aynı dönemde önemli ölçüde artmış, 2024 yılında 1,3 milyon yeni şarj noktası eklenmiştir. Çizelge 4, bölgesel şarj altyapısının 2020-2024 yılları arasındaki artışını göstermektedir.

Çizelge 4. Küresel Elektrikli Araç Şarj noktaları (2015-2024) [Milyon Adet]

Bölge	**2020**	**2022**	**2024**
Çin	0.3	0.6	0.9
Avrupa	0.2	0.5	0.8
ABD	0.1	0.3	0.5
Diğer	0.05	0.1	0.1
Toplam	0.65	1.5	2.3

Gelişmekte olan ülkelerde ise altyapı yatırımları büyük şehirler ve ana yol koridorlarıyla sınırlı kalmaktadır. Türkiye, bu pazarlardan biri olarak, özellikle 2022 sonrası dönemde elektrikli araç penetrasyonu ve şarj altyapısı yatırımlarında hızlı bir artış göstermiştir (TEHAD, 2024).

2.1. Teknolojik Gelişmeler

Elektrikli araç teknolojileri, batarya yoğunluğu, enerji verimliliği ve şarj hızı açısından önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Günümüzde lityum-iyon bataryalar hâlen en yaygın depolama teknolojisi olmakla birlikte, katı hal bataryaları ve yüksek enerji yoğunluklu batarya prototipleri de test edilmektedir (Nykvist & Nilsson, 2025).

Çizelge 5. yaygın elektrikli araç batarya teknolojilerinin karşılaştırılması (2025)

Batarya Türü	**Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)**	**Ömür Döngüsü**	**Şarj Süresi (0–80%)**	**Maliyet ($/kWh)**
Lityum-İyon (Li-ion)	150–250	1000–2000	30–60 dk	130–200
Katı Hal (Solid-State)	250–400	2000+	15–30 dk	200–300
Lityum-Kükürt (Li-S)	400–500	500–1000	45–60 dk	150–250
Nikel-Metal Hidrit (NiMH)	60–120	800–1200	60–90 dk	150–250

Detaylandırılmış Açıklamalar

1. **Enerji Yoğunluğu:** Bataryanın ağırlığı başına depolayabildiği enerji miktarıdır; menzil açısından doğrudan etkisi vardır.
2. **Ömür Döngüsü:** Bataryanın tam şarj-deşarj döngüsü sayısıdır; yüksek döngü ömrü, uzun ömürlü kullanım anlamına gelir.
3. **Şarj Süresi:** Hızlı şarj teknolojisi ile 0–80% kapasiteye ulaşma süresi; kullanıcı deneyimi açısından kritiktir.
4. **Maliyet:** 1 kWh enerji depolama maliyeti; batarya maliyeti araç fiyatını doğrudan etkiler.
5. **Avantajlar & Dezavantajlar:** Teknolojinin güçlü ve sınırlı yönleri; performans, güvenlik ve üretim açısından değerlendirilir.
6. **Çevresel Etki:** Üretim ve kullanım sürecinde çevreye olan etkisi; özellikle lityum, kobalt ve nadir toprak elementleri kullanımının ekolojik etkisi dikkate alınır.

Çizelge 6. Elektrikli araç batarya teknolojilerinin çevresel etkileri **(2025)**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Batarya Türü	Avantajlar	Dezavantajlar	Çevresel Etki
Lityum-İyon (Li-ion)	Yüksek yaygınlık, olgun teknoloji, üretim maliyeti düşüyor	Isıya duyarlı, yangın riski var, yoğunluk sınırlı	Üretim sırasında karbon ayak izi ve lityum/nikel/kobalt çıkarımı çevresel yük oluşturur
Katı Hal (Solid-State)	Daha güvenli, yüksek enerji yoğunluğu, daha uzun ömür	Henüz yaygın değil, üretim maliyeti yüksek	Daha az sıvı elektrolit kullanımı nedeniyle çevresel risk daha düşük
Lityum-Kükürt (Li-S)	Çok yüksek enerji yoğunluğu, düşük maliyet potansiyeli	Döngü ömrü kısa, kapasite kaybı hızlı	Kükürt kullanımı çevresel açıdan daha az zararlı, geri dönüşüm kolaylığı sınırlı
Nikel-Metal Hidrit (NiMH)	Dayanıklı, güvenli	Enerji yoğunluğu düşük, ağırlık fazla	Nispeten çevre dostu ancak nadir toprak elementi kullanımı söz konusu

Şarj altyapısı da gelişerek hızlı şarj ve akıllı şebeke entegrasyonuna doğru evrilmektedir. Kablosuz şarj ve batarya yönetim sistemleri, menzil kaygısını azaltmakta ve filo araçları için operasyonel verimliliği artırmaktadır (IEA, 2025).

2.2. Elektrikli Araçlarda Pazar Dinamikleri ve Türkiye Örneği

Elektrikli araç (EA) pazarının büyümesi, hem küresel hem de ulusal ölçekte bir dizi ekonomik, teknolojik ve politik faktöre bağlıdır. Pazar dinamikleri; talep ve arz tarafındaki faktörler, devlet teşvikleri, altyapı yatırımları, üretici stratejileri ve tüketici davranışları ile şekillenmektedir.

2.2.1. Küresel Pazar Dinamikleri

- **Talep Artışı:** Küresel elektrikli araç satışları, 2024 yılında yıllık %35'in üzerinde artış göstererek toplam stoğun 40 milyon adedi aşmasını sağlamıştır (IEA, 2025). Bu büyüme, özellikle Çin, Avrupa ve ABD gibi gelişmiş pazarlarda yoğunlaşmaktadır.
- **Üretici Stratejileri:** Tesla, BYD, Volkswagen, Hyundai ve Renault gibi büyük üreticiler, EA portföylerini genişletmekte ve üretim kapasitelerini artırmaktadır. Model çeşitliliği ve fiyat aralığı, tüketici talebini doğrudan etkilemektedir.
- **Politik ve Finansal Teşvikler:** Avrupa ülkeleri ve Çin'de, satın alma teşvikleri, vergi indirimleri ve düşük faizli krediler EA talebini artıran en önemli faktörlerdir.

Çizelge 7. Küresel elektrikli araç satışları ve tahmini paylar (2024)

Bölge	Toplam Satış (Milyon)	Tahmini Pazar Payı (%)
Çin	7,5	45
Avrupa	4,5	27
ABD	2,5	15
Diğer	2,0	13
Toplam	16,5	100

2.3. Türkiye Pazarı

Türkiye, gelişmekte olan pazarlar arasında, özellikle **2022 sonrası dönemde hızla konumunu güçlendirmiştir**. Pazar büyümesini etkileyen temel dinamikler şunlardır:

1. **Teşvik ve Vergi Politikaları:**
    - 2022 sonrası elektrikli araçlar için ÖTV ve KDV indirimleri uygulanmıştır.
    - Düşük faizli kredi ve hibeler, tüketici ilgisini artırmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2. **Altyapı Yatırımları:**
   - 2023–2025 döneminde şarj noktası sayısı 7.195'ten 32.682'ye yükselmiştir (EPSIS, 2025).
   - Kurulu güç, 350 MW'dan 2.374 MW'a çıkarak hızlı şarj altyapısını desteklemiştir.
3. **Tüketici Talebi ve Filo Kullanımı:**
   - İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyükşehirlerde EA talebi özellikle yüksek.
   - Kurumsal filolar (lojistik ve kiralama şirketleri) elektrikli araçlara yönelmektedir.
4. **Üretici ve Model Çeşitliliği:**
   - Türkiye'de yerli ve yabancı üreticiler elektrikli otomobil, hafif ticari araç ve scooter segmentlerinde ürün portföyünü genişletmektedir.
   - Yerli üretim girişimi olarak TOGG projesi, ülke genelinde farkındalık yaratmıştır.

Çizelge 8. Türkiye'de elektrikli araç sayısı ve şarj altyapısı (2025 Ekim)

Parametre	**Değer**
Elektrikli Araç Sayısı	334.768 adet
Toplam Şarj Soketi Sayısı	32.682
Toplam Kurulu Şarj Gücü	2.374 MW
Büyükşehirlerde Yoğunluk	İstanbul: ~123.000
Yerli Üretim	TOGG, Hafif ticari ve otomobil segmenti

5. Pazar Büyümesini Etkileyen Kritik Faktörler

- *Fiyat ve Menzil*: Batarya maliyeti ve araç menzili, tüketici tercihlerini doğrudan etkiler. Lityum-iyon ve katı hal bataryalarının gelişimi, pazar büyümesini hızlandırmaktadır.
- *Altyapı ve Ulaşılabilirlik*: Şarj altyapısının şehirlerarası yollar ve metropoller genelinde yaygınlaşması, EA kullanımını desteklemektedir.
- *Hukuki ve Politik Çerçeve*: Teşvikler, ÖTV/KDV indirimleri ve şehir içi erişim kolaylığı, talebi artıran en önemli faktörlerdir.
- *Filo ve Kurumsal Talep*: Lojistik ve kiralama şirketlerinin elektrikli araçları filolarına dahil etmesi, hacimsel büyümeyi tetiklemektedir.

Analitik Değerlendirme

- Türkiye'nin elektrikli araç pazarı, gelişmekte olan ülkeler sınıfında hızla büyüyen örneklerden biri olarak öne çıkmaktadır.
- Altyapı yatırımları, teşvikler ve yerli üretim girişimleri bir arada değerlendirildiğinde, Türkiye'nin önümüzdeki 5 yıl içinde küresel EA trendine paralel bir büyüme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.
- Büyükşehirlerde yoğunlaşan talep, şehirlerarası ve kırsal alanlarda altyapı eksiklikleri ile dengelenmelidir; aksi takdirde pazarın tam potansiyeli sınırlı kalabilir.

Çizelge 9. Küresel ve Türkiye elektrikli araç pazar dinamikleri (2024–2025)

Parametre / Bölge	**Küresel Toplam (2024)**	**Türkiye (2025 Ekim)**	**Açıklama**
Elektrikli Araç Sayısı	40,5 milyon	334.768 adet	Küresel stok ve Türkiye stok verileri; küresel artış %35 civarında
Yıllık Satış	16,5 milyon	~100.000 adet	Türkiye tahmini yıllık satış (2025)
Büyükşehirlerde Yoğunluk	-	İstanbul: ~123.000	Türkiye'de EA talebinin metropollerde yoğunlaşması
Kamuya Açık Şarj Noktası	2,3 milyon	32.682	Küresel veriler IEA, Türkiye verileri EPDK/EPSIS
Toplam Kurulu Şarj Gücü (MW)	-	2.374	Türkiye'de kurulu kapasite; hızlı şarj altyapısı artışı
Teşvik ve Vergiler	Çeşitli Avrupa ve Çin ülkeleri	ÖTV/KDV indirimleri, hibeler	Talebi artıran devlet politikaları
Yerli Üretim	-	TOGG, hafif ticari araçlar	Türkiye'de yerli üretim girişimi
Ortalama Şarj Süresi	30–60 dk	30–60 dk	Hızlı şarj istasyonları ile menzil kaygısı azaltılıyor
Batarya Türleri	Li-ion, Katı Hal, Li-S	Li-ion, Katı Hal	Enerji yoğunluğu ve menzil performansına göre seçim

Çizelge 9, 2024–2025 döneminde küresel ve Türkiye elektrikli araç pazarının temel dinamiklerini karşılaştırmaktadır. Türkiye verileri EPDK, EPSIS ve TÜİK kaynaklarına; küresel veriler IEA *Global EV Outlook 2025* raporuna dayanmaktadır. Tablo, araç sayısı, altyapı, teşvikler ve batarya teknolojileri gibi kritik parametreleri bir arada sunarak, Türkiye pazarının küresel eğilimlerle ilişkisini ortaya koymaktadır.

Elektrikli araç uygulamalarında yaygın olarak kullanılan batarya teknolojileri; enerji yoğunluğu, çevrim ömrü, maliyet ve güvenlik parametreleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır.

Küresel ve Türkiye Elektrikli Araç Pazar Dinamikleri (2024–2025)

1. Elektrikli Araç Sayısı:

- Küresel ölçekte, 2024 yılı itibarıyla elektrikli araç stoğu 40,5 milyon adet seviyesindedir. Bu sayı, bir önceki yıla göre yaklaşık %35 artış göstermektedir (IEA, 2025).
- Türkiye'de ise 2025 Ekim itibarıyla elektrikli araç sayısı 334.768 adettir. Türkiye pazarı, özellikle 2022 sonrası dönemde hızlı büyüme göstermektedir. Bu veri, ülkenin gelişmekte olan pazarlar arasında güçlü bir konumda olduğunu ortaya koymaktadır.

2. Yıllık Satış:

- Küresel elektrikli araç satışları 2024 yılında 16,5 milyon adede ulaşmıştır.
- Türkiye'de 2025 yılı için tahmini satış yaklaşık 100.000 adet olarak hesaplanmaktadır. Bu rakam, teşvikler ve altyapı yatırımları ile desteklenen talep artışını yansıtmaktadır.

3. Büyükşehirlerde Yoğunluk:

- Türkiye'de elektrikli araçların yoğunlaştığı şehirler, İstanbul (~123.000 araç), Ankara ve İzmir gibi metropollerdir.
- Büyükşehir yoğunluğu, altyapı ve ulaşım politikalarının önemini vurgulamakta, şehirler arası denge eksikliğini göstermektedir.

4. Kamuya Açık Şarj Noktası:

- Küresel ölçekte 2024 itibarıyla 2,3 milyon kamuya açık şarj noktası bulunmaktadır.
- Türkiye'de ise bu sayı 32.682'dir. Bu veri, Türkiye'de altyapının hızlı bir şekilde geliştiğini ve araç sayısındaki artışı desteklediğini göstermektedir.

5. Toplam Kurulu Şarj Gücü (MW):

- Türkiye'de toplam kurulu güç 2.374 MW'a ulaşmıştır. Bu, hızlı şarj kapasitesini ve altyapının güçlendirilmesini göstermektedir. Küresel veri için MW bazında net rakam verilmemiştir, ancak hızlı şarj altyapısındaki artış trendi önemlidir.

6. Teşvik ve Vergiler:

- Küresel ölçekte Çin ve Avrupa ülkelerinde çeşitli satın alma teşvikleri, vergi indirimleri ve düşük faizli krediler uygulanmaktadır.
- Türkiye'de ÖTV/KDV indirimleri, hibeler ve düşük faizli krediler tüketici talebini artıran ana unsurlardır.

7. Yerli Üretim:

- Türkiye'de yerli üretim girişimi olarak TOGG ve hafif ticari araç üretimi ön plana çıkmaktadır.
- Küresel pazarda ise üretim, Tesla, BYD, Volkswagen gibi büyük üreticiler tarafından yürütülmektedir.

8. Ortalama Şarj Süresi:

- Küresel ve Türkiye ölçekte hızlı şarj altyapısı sayesinde 0–80% kapasiteye ulaşma süresi yaklaşık 30–60 dakika arasındadır. Bu, menzil kaygısını azaltan önemli bir parametredir.

9. Batarya Türleri:

- Küresel pazarda Li-ion, Katı Hal (Solid-State) ve Lityum-Kükürt gibi batarya türleri yaygındır.
- Türkiye pazarında hâlihazırda Li-ion ve Katı Hal bataryalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Batarya seçimi, menzil ve enerji yoğunluğu açısından kritik bir

3. PAZAR DİNAMİKLERİ VE TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Türkiye'de elektrikli araç pazarı, hükümet teşvikleri, vergi indirimleri ve altyapı yatırımları sayesinde hızlı bir büyüme göstermektedir. 2024 itibarıyla Türkiye'deki elektrikli araç sayısı 100.000'i aşarken, şarj altyapısı yaklaşık 5.000 noktaya ulaşmıştır (TEHAD, 2024).

Çizelge 10. Türkiye Elektrikli Araç ve Şarj Noktası Büyümesi (2020-2024)

Yıl	Elektrikli Araç Sayısı	Kamuya Açık Şarj Noktası
2020	15.000	1.500
2021	25.000	2.200
2022	45.000	3.000
2023	75.000	4.000
2024	105.000	5.000

Türkiye'deki elektrikli araç pazarının büyümesi, özellikle İstanbul, Ankara ve İzmir gibi büyük şehirlerde yoğunlaşmaktadır. Ayrıca, otoyol koridorlarında hızlı şarj istasyonlarının kurulması, uzun mesafe yolculukları için altyapıyı desteklemektedir.

4. TÜRKİYE'DE ELEKTRİKLİ ARAÇ STOĞU VE ŞARJ ALTYAPISININ GELİŞİMİ

Türkiye'de elektrikli araç pazarı, 2016 yılından itibaren kademeli olarak büyüme göstermiştir. TÜİK ve EPDK verilerine göre, elektrikli araç sayısı 2016'da yalnızca 737 adet seviyesindeyken, 2024 Eylül itibarıyla yaklaşık 147.000 adede ulaşmış ve 2025 Ekim'de 334.768 adedi aşmıştır. Bu hızlı artış, özellikle 2022 sonrası dönemde pazara yönelik teşvikler, vergi avantajları ve artan model çeşitliliği ile paralellik göstermektedir.

Çizelge 11. Türkiye'de Elektrikli Araç Sayısının Yıllara Göre Değişimi

Yıl / Dönem	**Toplam Elektrikli Araç Sayısı**	**Not / Açıklama**
2016	737	Başlangıç dönemi
2018	1.193	Yavaş büyüme
2020	3.710	Pazar yeni yeni oluşuyor
2022	14.896	Hızlanma dönemi
2023	80.826	Keskin artış
2024 Eylül	146.965	Ara dönem, hızlı büyüme
2025 Ekim	334.768	Güncel değer

Şarj altyapısı tarafında da önemli bir büyüme gözlemlenmektedir. EPSIS'in EPDK verilerine göre, toplam şarj soketi sayısı 2023 Temmuz'da 7.195 iken, 2024 Temmuz'da 21.070'e ve 2025 Temmuz'da 32.682'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, toplam kurulu şarj gücü 2023'te 350 MW seviyesinde iken, 2024'te 1.306 MW ve 2025'te 2.374 MW'a ulaşmıştır.

Çizelge 12. Türkiye Elektrikli Araç Şarj Altyapısı (2023–2025)

Dönem	**Toplam Şarj Soketi**	**Toplam Kurulu Güç (MW)**
2023 Temmuz	7.195	350
2024 Temmuz	21.070	1.306
2025 Temmuz	32.682	2.374

5. ŞARJ İSTASYONU BİLEŞENLERİ VE HABERLEŞME ALTYAPISI

Elektrikli araç şarj istasyonları, hem elektriksel hem de bilgi/haberleşme altyapısı açısından karmaşık bir sistem olarak tasarlanır. Şarj altyapısı, **araç ile şarj cihazı arasındaki enerji transferi**, **kullanıcı yönetimi**, **faturalandırma**, ve **uzaktan izleme** gibi işlevleri destekler.

5.1. Şarj İstasyonu Bileşenleri

Bir elektrikli araç şarj istasyonu temel olarak dört ana bileşenden oluşur:

1. **Güç Kaynağı ve Dağıtım Ünitesi:**
    - Şarj istasyonuna enerji sağlayan ana hat ve trafo bağlantısıdır.
    - Voltaj ve akım seviyeleri, şarj tipi (AC veya DC) ve araç türüne göre düzenlenir.
2. **Şarj Cihazı (Charger) / EVSE (Electric Vehicle Supply Equipment):**
    - AC veya DC şarj üniteleri bulunur.
    - AC şarj üniteleri genellikle 3,7–22 kW, DC hızlı şarj üniteleri 50–350 kW aralığında güç sunar.
    - EVSE, araç ile elektrik şebekesi arasındaki enerji transferini güvenli şekilde yönetir ve hat korumalarını içerir.
3. **Bağlantı Kabloları ve Konnektörler:**
    - Tip 1, Tip 2, CCS, CHAdeMO ve Tesla gibi standart konnektör tipleri kullanılır.
    - Kablo ve konnektörler, güvenli ve hızlı enerji iletimine uygun olarak tasarlanır.
4. **Kullanıcı Arayüzü ve Ödeme Sistemi:**
    - Dokunmatik ekran, LED göstergeler ve mobil uygulama ile kullanıcı bilgilendirme ve kontrol sağlar.
    - RFID, QR kod, mobil uygulama veya kredi kartı ile ödeme ve faturalandırma sistemi entegre edilir.
5. **Enerji Yönetimi ve Güvenlik Sistemleri:**
    - Aşırı akım, kısa devre, toprak kaçak koruma sistemleri içerir.
    - Yerel enerji depolama veya yenilenebilir enerji entegrasyonu için yönetim yazılımı bulunur.

5.2. Haberleşme ve Bilgi Altyapısı

Elektrikli araç şarj istasyonları sadece enerji transferi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda **akıllı şebeke ve kullanıcı yönetimi** için haberleşme altyapısına sahiptir:

1. **Yerel Haberleşme:**
    - Şarj cihazı içindeki mikrodenetleyici ve enerji yönetim birimleri arasındaki iletişim.
    - Protokoller: Modbus, CAN bus, Ethernet, RS-485.
2. **Uzaktan İzleme ve Kontrol (Telemetri):**
    - Bulut tabanlı yazılımlar ile istasyon performansı izlenir.
    - Arıza tespiti, bakım planlaması ve enerji optimizasyonu için veriler analiz edilir.
    - Protokoller: OCPP (Open Charge Point Protocol) 1.6 veya 2.0, MQTT, HTTP/REST API.
3. **Kullanıcı ve Faturalandırma Haberleşmesi:**
    - Kullanıcı kimlik doğrulama ve ödeme sistemleri ile entegrasyon.
    - RFID, NFC, mobil uygulama veya bulut tabanlı ödeme altyapısı kullanılır.
4. **Şebeke ve Yenilenebilir Enerji Entegrasyonu:**
    - Şarj istasyonları, elektrik şebekesi ile iletişim kurarak talep yönetimi ve yük dengeleme yapabilir.
    - Güneş ve rüzgar enerjisi üretimi ile entegrasyon, akıllı şebeke yönetimi sağlar.

Analitik Notlar

- Şarj istasyonu bileşenleri ve haberleşme altyapısı, **araç güvenliği, kullanıcı deneyimi ve enerji verimliliği** açısından kritik öneme sahiptir.
- Gelişmiş protokoller (OCPP 2.0, Modbus TCP) ve bulut tabanlı izleme, istasyonların **uzaktan yönetim ve bakım** yeteneklerini artırır.
- Türkiye'de özellikle büyükşehirlerde ve otoyol koridorlarında kurulan istasyonlar, **hızlı**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

şarj ve akıllı şebeke entegrasyonu açısından öncü örnekler oluşturmaktadır.

6.TÜRKİYE ELEKTRİKLİ ARAÇ PAZARI SWOT ANALİZİ (2025)

Güçlü Yönler (Strengths)

1. *Hızla Büyüyen Pazar*: 2025 Ekim itibarıyla Türkiye'de 334.768 elektrikli araç bulunmaktadır; 2022 sonrası hızlı büyüme dikkat çekmektedir (TÜİK, EPDK, EPSIS).
2. *Altyapı Gelişimi*: Şarj noktası sayısı 2023'te 7.195 iken, 2025'te 32.682'ye; kurulu güç 350 MW'dan 2.374 MW'a yükselmiştir. Hızlı şarj altyapısı büyük şehirlerde yeterli seviyeye ulaşmıştır.
3. *Yerli Üretim Girişimi (TOGG)*: Türkiye'nin kendi elektrikli araç üretimi, hem teknolojik know-how hem de yerli sanayi kapasitesini artırmaktadır.
4. *Devlet Teşvikleri:* ÖTV/KDV indirimleri, hibeler ve düşük faizli krediler, tüketici talebini ve pazar büyümesini doğrudan desteklemektedir.
5. *Büyükşehir Talebi*: İstanbul, Ankara ve İzmir gibi metropollerde yoğun talep ve altyapı uyumu, EA kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

Zayıf Yönler (Weaknesses)

1. *Altyapıda Dengesizlik*: Şehirlerarası yollar ve kırsal alanlarda şarj altyapısı yetersiz; bu durum menzil kaygısı yaratmaktadır.
2. *Yüksek Maliyet*: Elektrikli araç fiyatları hâlâ içten yanmalı araçlara göre yüksek, batarya maliyetleri önemli bir faktör.
3. *Batarya Teknolojisi ve Tedarik Zinciri*: Li-ion batarya yoğunluğu ve maliyet bağımlılığı, yerli üretim için kritik bir zayıf yön oluşturuyor.
4. *Farkındalık ve Eğitim Eksikliği*: Tüketiciler ve filo operatörleri için EA kullanım ve bakım bilgisi sınırlı.

Fırsatlar (Opportunities)

1. *Küresel Trendlerle Paralellik*: Dünya genelinde EA pazarı hızla büyüyor; Türkiye bu trendi yakalayarak ihracat ve teknoloji transferi fırsatına sahip.
2. *Enerji ve Çevre Politikaları*: Karbon salınımını azaltma ve temiz enerji hedefleri, elektrikli araçlara olan talebi artırabilir.
3. *Yeni Teknoloji ve Batarya Gelişimi*: Katı hal ve Li-S bataryaları gibi yüksek enerji yoğunluklu teknolojiler, menzil kaygısını azaltabilir ve maliyeti düşürebilir.
4. *Kurumsal Filo Talebi*: Lojistik ve kiralama şirketlerinin elektrikli araçları benimsemesi, pazar büyümesini destekler.

Tehditler (Threats)

1. *Hammadde Bağımlılığı*: Lityum, kobalt ve nikel gibi kritik minerallerde dışa bağımlılık, fiyat ve tedarik riskleri yaratmaktadır.
2. *Rekabet:* Çin ve Avrupa'dan ithal araçlar, fiyat ve teknoloji açısından Türkiye pazarında rekabeti artırmaktadır.
3. *Altyapı Yatırımlarının Yavaşlaması*: Devlet ve özel sektör yatırımlarının yavaşlaması, talep artışını sınırlayabilir.
4. *Enerji ve Şebeke Kapasitesi*: Elektrikli araç sayısındaki hızlı artış, elektrik şebekesi

üzerindeki yükü artırabilir.

Analitik Değerlendirme

- Türkiye, hızla büyüyen bir EA pazarı ve yerli üretim potansiyeli ile güçlü bir konuma sahiptir.
- Ancak altyapı ve maliyet konularındaki zayıf yönler, özellikle şehirlerarası ve kırsal kullanım için kritik bir sınırlama oluşturmaktadır.
- Küresel trendler ve yeni teknolojiler, Türkiye için büyük bir fırsat yaratmaktadır.
- Hammadde bağımlılığı, rekabet ve enerji altyapısı gibi riskler, stratejik planlamada göz önünde bulundurulmalıdır.

7. SONUÇLAR VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, Türkiye'de elektrikli araç (EA) şarj altyapısını teknik ve enerji odaklı olarak incelemiş ve 2025 itibarıyla ulaşılan noktanın **güçlü bir büyüme ivmesine** işaret ettiğini göstermiştir. EPDK ve EPSIS verileri, 2023–2025 döneminde hem elektrikli araç sayısında hem de şarj altyapısında **önemli bir artış** olduğunu ortaya koymakta; istasyon başına düşen araç sayısının rekabetçi seviyelere gerilediği görülmektedir (EPDK, 2024a; EPSIS, 2025; PwC Türkiye, 2025). Bu durum, Türkiye'nin altyapı ve kullanıcı kabulü açısından önemli bir temel oluşturduğunu göstermektedir.

Ancak, 2030 ve 2035 hedefleri göz önüne alındığında, altyapı ve enerji sisteminin sürdürülebilir büyümesi için **stratejik ve teknik önlemler** alınması gerekmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki politika ve teknik öneriler öne çıkmaktadır:

1. Dağıtım Şebekesi Planlamasında EA Senaryolarının Entegrasyonu

- Dağıtım şirketleri, yatırım ve güçlendirme planlarını hazırlarken elektrikli araç penetrasyon senaryolarını ana senaryo olarak kullanmalıdır.
- Trafo, hat ve şalt sistemleri, gelecekteki yüksek EA talebini karşılayacak şekilde kapasite artırımı ve rezerv planlamasıyla tasarlanmalıdır.
- Akıllı sayaç ve izleme sistemleri ile şebeke yük profili sürekli izlenmeli, talep artışlarına proaktif müdahale sağlanmalıdır.

2. Akıllı Şarj ve Dinamik Fiyatlandırmanın Yaygınlaştırılması

- Zamana bağlı dinamik tarifeler ve şarj hizmeti sağlayıcılarının esnek fiyat politikaları, pik yüklerin azaltılmasına ve şebeke verimliliğinin artırılmasına katkı sağlar.
- Mevzuat, akıllı şarj fonksiyonlarını destekleyen düzenlemeler ile donatılmalı; şebeke operatörleri ve kullanıcılar arasında bilgi akışı sağlanmalıdır.
- Akıllı şarj algoritmaları, yenilenebilir üretim ile entegre çalışarak hem enerji maliyetlerini düşürebilir hem de karbon salınımını azaltabilir.

3. Yenilenebilir Enerji ve Enerji Depolama Entegrasyonu

- Özellikle yüksek güçlü DC hızlı şarj istasyonlarında batarya destekli çözümler ve fotovoltaik (PV) entegrasyonu teşvik edilmelidir (SHURA, 2024; Çıkan, 2024).
- Hibe programları, düşük faizli krediler ve vergi avantajları, hem özel sektör hem de kamu yatırımlarını destekleyebilir.
- Yenilenebilir kaynak ve depolama entegrasyonu, şebeke esnekliğini artırır ve pik yük

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

yönetimini optimize eder.

4. V2G ve İleri Seviye Akıllı Şebeke Uygulamaları için Pilot Projeler

- Üniversite-sanayi iş birliği ile, V2G (Vehicle-to-Grid) pilot projeleri ve ileri seviye akıllı şebeke uygulamaları uygulanmalıdır.
- Bu projelerde dağıtım şirketleri, araç üreticileri ve şarj hizmet sağlayıcıları birlikte yer almalı; teknik ve ekonomik sonuçlar ulusal düzeyde paylaşılmalıdır (SHURA, 2024).
- Pilot projeler, şebekeye geri enerji beslemesi ve talep yönetimi stratejilerinin optimizasyonunu sağlar.

5. Coğrafi Olarak Dengeli Şarj Altyapısı Yayılımı

- Yeni şarj istasyonlarının kurulumu, çok kriterli karar verme ve CBS tabanlı yöntemler kullanılarak optimize edilmelidir.
- Hem şehirlerarası yollar hem de kırsal alanlar kapsanarak, altyapı dengesizliğinin giderilmesi sağlanabilir.
- Böylece, kullanıcıların menzil kaygısı azaltılır ve elektrikli araçların benimsenme oranı artırılır.

6. Yerel Teknoloji ve Ar-Ge Ekosisteminin Güçlendirilmesi

- Yerli şarj ünitesi üreticileri, yazılım firmaları ve batarya teknolojisi geliştiricileri için vergi teşvikleri, Ar-Ge destekleri ve ulusal fonlar genişletilmelidir (Altınkaya, 2023; PwC Türkiye, 2025).
- Bu, Türkiye'nin yüksek katma değerli üretim kapasitesini artırırken, teknoloji transferi ve inovasyonu da destekler.

Türkiye, 2025 itibarıyla elektrikli araç şarj altyapısında güçlü bir temel oluşturmuştur. Ancak 2030 ve 2035 hedeflerine ulaşmak için özellikle akıllı şarj sistemleri, yenilenebilir enerji entegrasyonu, şebeke planlaması ve yerli teknoloji geliştirme alanlarında proaktif politikalar ve teknik yatırımlar gerekmektedir.

Doğru planlama ve koordinasyon ile, elektrikli araçlar yalnızca ulaşım sektöründe değil, enerji sisteminin esnekliğinin artırılmasında stratejik bir kaynak haline gelebilir (SHURA, 2024; IEA, 2025).

KAYNAKÇA

ALTINKAYA, H (2025). Elektrikli Araç Şarj İstasyonlarının Elektrik Şebekesine entegrasyonu: OYF, LHÖ ve YSA ile Karabük Üniversitesi Yerleşkesi Durum Çalışması, Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 37(1), 15-36, 2025

Çıkan, M. (2024). *Elektrikli Araçların Güç Sistemlerine Entegrasyonu Üzerine Bir İnceleme.*Yüksek Lisans Tezi Kahramanmaraş Şütçü İmam Üniversitesi

Enerji Ajansı. (2025). *Türkiye'de Şarj İstasyonu Sayısı – Eylül 2025*.

EPDK. (2024). *Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri – Eylül 2024*.

EPDK. (2024). *Şarj Hizmeti Piyasası Aylık İstatistikleri – Ağustos 2024*.

EPDK. (2025). *Elektrikli araç ve şarj altyapısı istatistikleri*. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. https://www.epdk.gov.tr

EPSIS. (2025). *EPDK şarj hizmeti piyasası istatistikleri: 2023–2025 karşılaştırmalı analiz*.

EPSIS. (2025). *EPDK Temmuz 2023–2025 Karşılaştırması*.

EVCify. (2024). *Türkiye Elektrikli Araç Şarj İstasyonu Sayıları – İl Bazlı Soket Verileri (30.09.2024)*

Gnann, T., Plötz, P., Funke, S., & Wietschel, M. (2018). Fast charging infrastructure and smart charging for electric vehicles. *Energy Policy, 120*, 112–123. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.038

IEA. (2023). *Global EV Outlook 2023*. International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023

IEA. (2025). *Global EV Outlook 2025*.

Lutsey, N., & Nicholas, M. (2019). *Update on electric vehicle adoption and charging infrastructure*. International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/publication/update-on-ev-adoption-2019/

PwC. (2023). *Türkiye elektrikli araç ve şarj altyapısı raporu*. PricewaterhouseCoopers Türkiye. https://www.pwc.com.tr

SHURA Energy Transition Center. (2020). *Transport Sector Transformation: Integrating Electric Vehicles into Turkey's Distribution Grids*.

SHURA Energy Transition Center. (2024). *Transportation Sector Transformation – Integrating Electric Vehicles into Türkiye's Distribution Grids (Update).*

TEHAD. (2024). *Türkiye elektrikli ve hibrit araçlar derneği raporu*. TEHAD. https://www.tehad.org.tr

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). *Motorlu kara taşıtları istatistikleri*. https://www.tuik.gov.tr

Yağcıtekin, B. (2014). *Elektrikli Araç Şarj Altyapısı Tasarımı ve Akıllı Şarj Sisteminin Geliştirilmesi* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi.

Yapıcı, A. T., & Abut, N. (2025). *Geleceğe Yönelik Elektrikli Araç ve Şarj İstasyonu Sayılarının LSTM ve GRU Derin Öğrenme Yöntemleri Kullanılarak Tahmin Edilmesi: Kocaeli İli Örneği*. Politeknik Dergisi.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA AERODİNAMİK TASARIMIN ŞEHİR İÇİ ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİ

Melike İnci ŞAHİN

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,

melike.sahin10@ogr.dpu.edu.tr - 0009-0004-0547-4528

Prof. Dr., Ramazan KÖSE

Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,

ramazan.kose@dpu.edu.tr - 0000-0001-6041-6591

ÖZET

Elektrikli araçlarda (EA) enerji tüketimini belirleyen temel unsurlar; araç kütlesi, güç aktarma organlarının verimi, yardımcı sistemlerin enerji talebi ve aerodinamik dirençtir. Aerodinamik sürükleme, özellikle otoyol hızlarında toplam yol direncinin baskın bileşeni hâline gelirken, şehir içi düşük hız ve yoğun trafik koşullarında atalet etkileri (ivmelenme–frenleme) ile yuvarlanma direnci ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte, modern elektrikli araçlarda dış gövde geometrisi, tavan formu, alt gövde kaplaması ve tekerlek tasarımı gibi aerodinamik parametrelerin, 30–60 km/s hız aralığında dahi enerji tüketimi üzerinde ölçülebilir iyileştirmeler sağladığı bilinmektedir. Literatürde yer alan sayısal ve deneysel çalışmalar, aerodinamik optimizasyon sayesinde eşdeğer şehir içi sürüş döngülerinde %3–10 aralığında enerji tasarrufu elde edilebildiğini ortaya koymaktadır.

Bu bildiride, elektrikli araçlarda aerodinamik tasarımın şehir içi enerji tüketimine etkisi; temel aerodinamik prensipler, sürükleme modeli, şehir içi sürüş döngüleri, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) tabanlı analizler ve literatürde raporlanan deneysel çalışmalar çerçevesinde incelenmektedir. Düşük sürtünme katsayısına (Cd) sahip Hyundai Ioniq 6 ve Tesla Model 3 gibi elektrikli araçlar, tipik kompakt SUV ve sedan sınıfındaki araçlarla karşılaştırılarak şehir içi enerji tüketimi üzerindeki farklılıklar tartışılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar, dur-kalk karakterli şehir içi sürüşlerde araç kütlesinin hâlen baskın bir parametre olduğunu; ancak 50 km/s üzerindeki hız kesitlerinde aerodinamik sürüklemenin toplam güç talebinin %15–30'una kadar ulaşabildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araç, aerodinamik sürükleme, şehir içi sürüş, enerji tüketimi, CFD

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ASSESSMENT OF AERODYNAMİC DESİGN EFFECTS ON URBAN ENERGY CONSUMPTİON OF ELECTRİC VEHİCLES

ABSTRACT

The main factors determining energy consumption in electric vehicles (EVs) include vehicle mass, powertrain efficiency, energy demand of auxiliary systems, and aerodynamic drag. While aerodynamic drag becomes the dominant component of total road resistance at highway speeds, inertial effects (acceleration–deceleration) and rolling resistance prevail under low-speed and congested urban driving conditions. Nevertheless, it is well established that aerodynamic parameters such as exterior body geometry, roof profile, underbody paneling, and wheel design in modern electric vehicles provide measurable improvements in energy consumption even within the 30–60 km/h speed range. Numerical and experimental studies reported in the literature indicate that aerodynamic optimization can achieve energy savings of approximately 3–10% in equivalent urban driving cycles.

In this study, the impact of aerodynamic design on urban energy consumption in electric vehicles is investigated within the framework of fundamental aerodynamic principles, drag modeling, urban driving cycles, computational fluid dynamics (CFD)-based analyses, and experimental findings reported in the literature. Electric vehicles with low drag coefficients (Cd), such as the Hyundai Ioniq 6 and Tesla Model 3, are compared with typical compact SUVs and sedan-class vehicles to discuss differences in urban energy consumption. Recent studies demonstrate that vehicle mass remains the dominant factor in stop-and-go urban driving conditions; however, aerodynamic drag can account for up to 15–30% of the total power demand at speed ranges above 50 km/h.

Keywords: Smart Grids, Electric Vehicle, Energy Management, Charging Infrastructure, Turkey

GİRİŞ

Ulaştırma sektörünün karbonsuzlaştırılması, küresel ölçekte sera gazı emisyonlarının azaltılması ve enerji arz güvenliğinin güvence altına alınması açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu doğrultuda elektrikli araçlar (EA), içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla sundukları yüksek enerji verimliliği ve yerel emisyonsuz sürüş özellikleri sayesinde sürdürülebilir ulaşım politikalarının merkezinde yer almaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verileri, elektrikli araç satışlarının son yıllarda belirgin bir artış eğilimi gösterdiğini ve bu artışın özellikle şehir içi ulaşım sistemlerinde önemli yapısal dönüşümlere yol açtığını ortaya koymaktadır (IEA, 2025).

Elektrikli araçların yaygınlaşmasıyla birlikte, enerji verimliliği ve menzil kavramları otomotiv mühendisliğinin temel araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir. Elektrikli araçlarda enerji tüketimini belirleyen başlıca faktörler; araç kütlesi, güç aktarma organlarının verimi, yardımcı sistemlerin (iklimlendirme, aydınlatma, batarya termal yönetimi vb.) enerji talebi ve aerodinamik dirençtir (Guzzella & Sciarretta, 2013). İçten yanmalı motorlu araçlarda aerodinamik performans yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve akustik konfor üzerinde belirleyici bir etkiye sahipken; elektrikli araçlarda aerodinamik tasarım doğrudan araç menzili, batarya kapasitesi ve toplam araç kütlesi ile ilişkilidir (Fiori et al., 2016; Hucho, 2013). Özellikle yüksek enerji yoğunluklu lityum-iyon bataryaların maliyetli ve ağır yapısı, aerodinamik iyileştirmeler yoluyla sağlanan her bir kilovat-saatlik enerji tasarrufunu stratejik bir tasarım girdisi hâline getirmektedir (Miri et al., 2021; Küçükay et al., 2020).

Sürüş koşullarına bağlı olarak yol direnci bileşenlerinin göreli önemi değişmektedir. Otoyol sürüşlerinde, yaklaşık 90–120 km/s hız aralığında aerodinamik sürükleme kuvveti toplam yol direncinin baskın bileşeni hâline gelirken; şehir içi sürüş koşullarında (tipik olarak 20–60 km/s) sık dur-kalk döngülerinden kaynaklanan atalet kuvvetleri, yuvarlanma direnci ve yardımcı sistemlerin enerji tüketimi daha belirgin bir rol oynamaktadır (Helms et al., 2020). TNO tarafından gerçekleştirilen yol yükü analizleri, 0–40 km/s hız aralığında yuvarlanma direncinin, 80 km/s üzerindeki hızlarda ise aerodinamik direncin toplam direnç içerisinde baskın olduğunu göstermektedir (TNO, 2018).

Bununla birlikte, literatürde son yıllarda gerçekleştirilen sayısal ve deneysel çalışmalar, aerodinamik sürüklemenin etkisinin yalnızca yüksek hızlarla sınırlı olmadığını, şehir içi sürüş koşullarında da enerji tüketimi üzerinde anlamlı katkılar sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle modern elektrikli araçlarda dış gövde geometrisi, tavan ve arka tasarım (fastback, kammback), alt gövde kaplamaları, tekerlek ve yan ayna tasarımları gibi aerodinamik unsurların optimize edilmesiyle, 30–60 km/s hız aralığında dahi ölçülebilir enerji tasarrufları sağlanabilmektedir (Hucho, 2013; Sovran et al., 2020). Yapılan çalışmalar, şehir içi sürüş döngülerinde aerodinamik iyileştirmeler sayesinde yaklaşık %3–10 aralığında enerji tüketimi azalımı elde edilebildiğini göstermektedir.

Şehir içi sürüş koşullarında aerodinamik direncin göreli önemi hız arttıkça belirginleşmektedir. Özellikle 50 km/s ve üzerindeki hız kesitlerinde aerodinamik sürüklemenin, toplam çekiş gücü ihtiyacının %15–30'una kadar ulaşabildiği rapor edilmektedir. Bu durum, şehir içi hız limitlerinin yüksek olduğu arterlerde ve akıcı trafik koşullarında aerodinamik tasarımın enerji

verimliliği açısından göz ardı edilemeyecek bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır (Fontaras & Samaras, 2010).

Bu çalışmada, elektrikli araçlarda aerodinamik tasarımın şehir içi enerji tüketimine etkisi; temel aerodinamik kavramlar ve sürükleme kuvveti modelleri, şehir içi sürüş döngüleri (WLTC, UDDS vb.), hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) temelli analizler ve literatürde yer alan deneysel çalışmalar çerçevesinde ele alınmaktadır. Düşük sürükleme katsayısına (Cd) sahip Hyundai Ioniq 6 ve Tesla Model 3 gibi elektrikli araçlar, tipik kompakt SUV ve sedan sınıfındaki araçlarla karşılaştırılarak şehir içi enerji tüketimi üzerindeki aerodinamik farklar tartışılmakta; elde edilen değerlendirmeler doğrultusunda şehir içi kullanım odaklı elektrikli araç tasarımı için aerodinamik optimizasyona yönelik teknik çıkarımlar sunulması amaçlanmaktadır.

1. ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA ENERJİ TÜKETİMİNİN BİLEŞENLERİ

Elektrikli araçlarda (EA) toplam enerji tüketimi, sürüş koşulları ve araç tasarım parametrelerine bağlı olarak değişen çok bileşenli bir yapı sergilemektedir. İçten yanmalı motorlu araçlardan farklı olarak, elektrikli araçlarda güç aktarma organlarının yüksek verimliliği nedeniyle enerji kayıpları daha belirgin biçimde araç dinamiği, aerodinamik ve yardımcı sistemler üzerinden şekillenmektedir. Bu nedenle enerji tüketiminin doğru analiz edilebilmesi, ilgili bileşenlerin ayrı ayrı değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır (Guzzella & Sciarretta, 2013; Fiori et al., 2016).

Elektrikli bir aracın sürüş esnasında bataryadan talep ettiği toplam enerji, genel olarak çekiş enerjisi ve yardımcı sistemlerin enerji talebinden oluşmaktadır. Çekiş enerjisi ise yol direncini oluşturan temel kuvvetlerin aşılması için harcanan enerjiyi ifade etmektedir.

1.1. Yol direnci bileşenleri

Yuvarlanma direnci, lastik ile yol yüzeyi arasındaki deformasyon, temas kayıpları ve iç histerezis etkilerinden kaynaklanmakta olup, özellikle düşük hızlarda enerji tüketiminin baskın bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Şehir içi sürüş koşullarında, ortalama hızların düşük olması ve sık dur-kalk manevraları nedeniyle yuvarlanma direnci, toplam yol direnci içerisinde önemli bir paya sahiptir.

Genel olarak bir aracın doğrusal hareketi sırasında karşılaşılan ana direnç bileşenleri; lastik–yol etkileşiminden kaynaklanan yuvarlanma direnci, araç–hava etkileşimine bağlı olarak hızın karesi ile artan aerodinamik sürükleme direnci ve hız değişimlerinden doğan atalet (ivmelenme–frenleme) kuvvetleri olarak tanımlanmaktadır (Guzzella & Sciarretta, 2013; Hucho, 2013). Düz ve eğimsiz bir yol varsayımı altında, bir aracın belirli bir hız profilini takip edebilmesi için ihtiyaç duyduğu anlık çekiş kuvveti, bu direnç bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir:

$$F_{trac}(t) = F_{rr} + F_{aero}(t) + F_{inertia}(t)$$

Yuvarlanma direnci kuvveti, araç kütlesi ve lastik özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki şekilde modellenmektedir:

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$F_{rr} = mgC_{rr}$$

Burada $m$araç kütlesini, $g$yerçekimi ivmesini ve C_{rr}yuvarlanma direnci katsayısını ifade etmektedir. Literatürde, özellikle şehir içi sürüş koşullarında yuvarlanma direncinin, düşük hız rejimlerinde aerodinamik sürüklemeye kıyasla daha baskın bir rol oynadığı ve toplam enerji tüketiminin belirlenmesinde kritik bir parametre olduğu belirtilmektedir (Helms et al., 2020; Sovran et al., 2020).

Aerodinamik sürükleme direnci, aracın hava içerisindeki hareketinden kaynaklanmakta olup, hızın karesi ile artan bir karakter sergilemektedir. Bu direnç bileşeni aşağıdaki ifade ile modellenmektedir:

$$F_{aero}(t) = \frac{1}{2}\rho C_d A v(t)^2$$

Burada ρhava yoğunluğunu, $C_d$sürükleme katsayısını, Aaracın frontal alanını ve $v(t)$zamana bağlı araç hızını ifade etmektedir. Literatürde, aerodinamik sürüklemenin geleneksel olarak otoyol hızları ile ilişkilendirilmesine rağmen, 30–60 km/s aralığındaki şehir içi hızlarda dahi toplam enerji tüketimi üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olduğu gösterilmektedir (Sims-Williams, 2017; Fontaras & Samaras, 2010).

Atalet kuvveti ise, aracın hızındaki zamana bağlı değişimlerden kaynaklanmakta ve özellikle şehir içi sürüşlerde belirleyici bir rol oynamaktadır. Atalet kuvveti aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$F_{inertia}(t) = m\frac{dv(t)}{dt}$$

Elektrikli araçlarda rejeneratif frenleme sistemleri, yavaşlama sırasında kinetik enerjinin bir kısmının geri kazanılmasına olanak tanısa da, sistem verimlerinin sınırlı olması nedeniyle atalet kuvvetlerinden kaynaklanan enerji tüketimi şehir içi toplam tüketimde baskın bileşenlerden biri olmaya devam etmektedir (Sovran et al., 2020).

Bu direnç bileşenlerinin hız ve sürüş profiline bağlı olarak değişen göreli büyüklükleri, şehir içi ve otoyol sürüş koşullarında enerji tüketiminin farklı mekanizmalar tarafından belirlendiğini ortaya koymakta ve aerodinamik tasarımın elektrikli araçlar için stratejik bir optimizasyon alanı olduğunu göstermektedir.

1.2. Şehir içi ve otoyol koşullarında farklar

Elektrikli araçlarda enerji tüketimini belirleyen yol direnci bileşenlerinin göreli etkileri, sürüş koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Şehir içi ve otoyol sürüşleri; ortalama hız düzeyi, ivmelenme karakteristiği ve sürüş sürekliliği açısından farklı dinamikler sergilemekte olup, bu farklılıklar enerji tüketiminin baskın mekanizmalarını belirlemektedir (Guzzella & Sciarretta, 2013).

Şehir içi sürüş koşulları, genellikle 20–60 km/s aralığında değişen düşük ortalama hızlar, sık dur-kalk manevraları ve yüksek ivmelenme-frenleme frekansı ile karakterize edilmektedir. Bu koşullarda enerji tüketimi, ağırlıklı olarak araç kütlesine bağlı atalet kuvvetleri ve yuvarlanma direnci tarafından belirlenmektedir. Düşük hız rejiminde aerodinamik sürükleme kuvveti hızın karesi ile artmasına rağmen mutlak değer olarak sınırlı kalmakta; buna karşın ivmelenme sırasında harcanan enerji, rejeneratif frenleme sistemleriyle kısmen geri kazanılabilse de, rejenerasyon veriminin sınırlı olması nedeniyle toplam tüketim üzerinde belirleyici bir etki yaratmaktadır (Sovran et al., 2020; Miri et al., 2021).

Otoyol sürüş koşulları ise daha yüksek ve nispeten sabit hızlar (yaklaşık 90–120 km/s), düşük ivmelenme sıklığı ve süreklilik arz eden bir sürüş profili ile tanımlanmaktadır. Bu hız rejiminde aerodinamik sürükleme kuvveti hızın karesi ile hızla artarak toplam yol direncinin baskın bileşeni hâline gelmektedir. Literatürde, otoyol hızlarında aerodinamik sürüklemenin toplam çekiş gücü ihtiyacının %60–80 aralığına ulaşabildiği ve bu nedenle sürükleme katsayısı (Cd) ile frontal alan gibi aerodinamik parametrelerin enerji tüketimini belirleyen temel tasarım değişkenleri olarak öne çıktığı bildirilmektedir (Hucho, 2013; Fontaras & Samaras, 2010).

Bununla birlikte, şehir içi ve otoyol sürüşleri arasındaki bu ayrım, günümüz şehir içi trafik yapılarında kısmen belirsizleşmektedir. Akıcı şehir içi arterler, çevre yolları ve düşük trafik yoğunluğuna sahip bulvarlarda araç hızlarının 50–70 km/s seviyelerine ulaşması, aerodinamik sürüklemenin şehir içi enerji tüketimi üzerindeki göreli etkisini artırmaktadır. Yapılan yol yükü ve enerji modelleme çalışmalarında, 50 km/s ve üzerindeki şehir içi hız kesitlerinde aerodinamik sürüklemenin toplam anlık çekiş gücü ihtiyacının yaklaşık %15–30'una kadar ulaşabildiği rapor edilmektedir (Fontaras & Samaras, 2010; Sims-Williams, 2017; Chen et al., 2021; Seo et al., 2025).

Sonuç olarak, şehir içi sürüşlerde kütle, yuvarlanma direnci ve ivmelenme profili enerji tüketimini belirleyen başlıca unsurlar olarak öne çıkarken; otoyol sürüşlerinde aerodinamik tasarım belirleyici bir rol üstlenmektedir. Ancak şehir içi kullanımın elektrikli araçlar için baskın olması ve şehir içi hız limitlerinin giderek artması dikkate alındığında, aerodinamik optimizasyonun yalnızca otoyol menzilini artırmaya yönelik bir yaklaşım değil, aynı zamanda şehir içi enerji verimliliğini artıran stratejik bir tasarım girdisi olduğu anlaşılmaktadır.

2. ELEKTRİKLİ ARAÇ GÖVDE TASARIMINDA AERODİNAMİK İLKELER VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ

Elektrikli araçlarda enerji verimliliğinin artırılması, yalnızca güç aktarma organlarının verimiyle sınırlı olmayıp, araç gövde tasarımında uygulanan aerodinamik ilkelerle doğrudan ilişkilidir. Özellikle sürükleme katsayısının azaltılmasına yönelik gövde geometrisi optimizasyonları, hem otoyol hem de şehir içi sürüş koşullarında enerji tüketimini belirgin biçimde etkilemektedir. Bu bölümde, elektrikli araç gövde tasarımında temel aerodinamik prensipler ele alınmakta; aerodinamik direnç modeli, gövde tasarım parametreleri, şehir içi sürüş koşullarındaki etkiler ve güncel hesaplamalı analiz yaklaşımları çerçevesinde enerji verimliliği ile olan ilişkisi sistematik olarak incelenmektedir.

2.1. Aerodinamik Direnç ve Temel Kuramsal Model

Elektrikli araçlarda aerodinamik direnç, araç gövdesi ile çevreleyen hava arasındaki etkileşim sonucunda ortaya çıkan ve özellikle orta ve yüksek hız rejimlerinde enerji tüketimini belirgin biçimde etkileyen temel bir yol direnci bileşenidir. Aerodinamik sürükleme, araç hareket yönüne zıt yönde etki eden bir kuvvet olup, büyüklüğü başta araç hızı olmak üzere gövde geometrisi ve akış koşullarına bağlıdır. Bu nedenle aerodinamik direnç, elektrikli araçlarda menzil ve enerji verimliliği açısından kritik bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmektedir (Hucho, 2013; Guzzella & Sciarretta, 2013).

Klasik aerodinamik yaklaşımda, bir aracın maruz kaldığı sürükleme kuvveti aşağıdaki eşitlik ile ifade edilmektedir:

$$F_{aero} = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, v^2$$

Burada ρhava yoğunluğunu (kg/m³), $C_d$sürükleme katsayısını, Aaracın frontal alanını (m²) ve $v$araç hızını (m/s) temsil etmektedir. Denklemden de görüleceği üzere, aerodinamik sürükleme kuvveti hızın karesi ile artmakta olup, özellikle hızın yükseldiği sürüş koşullarında enerji tüketiminin baskın bileşeni hâline gelmektedir.

Aerodinamik sürüklemenin enerji tüketimi üzerindeki etkisi, çekiş gücü gereksinimi cinsinden değerlendirildiğinde daha açık biçimde ortaya çıkmaktadır. Aerodinamik sürüklemeye karşı koymak için gerekli anlık güç ihtiyacı aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$P_{aero} = F_{aero} \cdot v = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, v^3$$

Bu ifade, aerodinamik güç ihtiyacının hızın küpü ile arttığını göstermekte olup, aerodinamik iyileştirmelerin enerji tüketimi üzerindeki etkisinin neden özellikle yüksek hızlarda daha belirgin olduğunu açıklamaktadır. Bununla birlikte, şehir içi sürüş koşullarında hızlar görece düşük olsa dahi, akıcı trafik kesitlerinde ve 50–70 km/s hız aralığında aerodinamik güç bileşeninin toplam çekiş gücü ihtiyacı içerisindeki payı ihmal edilemeyecek seviyelere ulaşabilmektedir (Fontaras & Samaras, 2010; Sims-Williams, 2017).

Sürükleme katsayısı C_d, araç gövde geometrisinin aerodinamik performansını temsil eden boyutsuz bir parametre olup; akış ayrılması, türbülans oluşumu ve basınç dağılımı gibi karmaşık akış fenomenlerinin bileşik etkisini yansıtmaktadır. Elektrikli araçlarda, soğutma ihtiyacının içten yanmalı araçlara kıyasla daha düşük olması, ön yüzey açıklıklarının azaltılmasına ve alt gövde akışının iyileştirilmesine olanak tanımakta; bu durum sürükleme katsayısının düşürülmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır (Fiori et al., 2016; Küçükay et al., 2020).

Literatürde, sürükleme katsayısındaki her 0,01'lik iyileştirmenin, sürüş profiline bağlı olarak elektrikli araçlarda %1–2 mertebesinde enerji tüketimi azalımı sağlayabileceği rapor edilmektedir. Bu etki, özellikle şehir içi ve karma sürüş döngülerinde, hız koruma ve ivmelenme fazlarında daha düşük çekiş gücü gereksinimi ile kendini göstermektedir (Sims-Williams, 2017; Zhang et al., 2021).

Sonuç olarak, aerodinamik direnç modeli; sürükleme katsayısı, frontal alan ve hız arasındaki güçlü doğrusal olmayan ilişki nedeniyle, elektrikli araç gövde tasarımında enerji verimliliğini doğrudan belirleyen temel kuramsal çerçeveyi oluşturmaktadır. Bu çerçeve, bir sonraki alt bölümde ele alınacak olan gövde tasarım parametrelerinin enerji tüketimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi için temel teşkil etmektedir.

2.2. Elektrikli Araç Gövde Tasarımında Aerodinamik Parametreler

Elektrikli araçlarda aerodinamik performans, yalnızca tek bir geometrik özelliğe bağlı olmayıp, araç gövdesinin tamamında oluşan akış yapısının bileşik bir sonucudur. Bu bağlamda sürükleme katsayısı (C_d), ön yüzey basınç dağılımı, akış ayrılması, türbülans oluşumu ve arka iz bölgesindeki (wake) basınç kayıplarının toplam etkisini temsil eden bütüncül bir performans göstergesi olarak değerlendirilmektedir (Hucho, 2013).

Aerodinamik sürükleme katsayısına etki eden başlıca gövde tasarım parametreleri; araç ön yüzey geometrisi, tavan eğimi ve arka gövde formu, alt gövde yapısı, tekerlek–çamurluk etkileşimi ve dış donanım elemanları olarak sınıflandırılmaktadır. Bu parametrelerin her biri, akışın gövde üzerinde tutunma veya ayrılma davranışını değiştirerek toplam sürükleme kuvvetini doğrudan etkilemektedir.

Araç ön yüzeyinde, keskin kenarlardan kaçınılması ve yumuşak geçişli geometrilerin tercih edilmesi, sınır tabaka gelişimini iyileştirerek basınç sürüklemesini azaltmaktadır. Elektrikli araçlarda, içten yanmalı motorlu araçlara kıyasla daha düşük soğutma gereksinimi sayesinde ön ızgara açıklıklarının küçültülmesi veya aktif panjur sistemlerinin kullanılması mümkün olmakta; bu durum ön yüzeyden kaynaklanan aerodinamik kayıpların azaltılmasına önemli katkı sağlamaktadır (Fiori et al., 2016).

Tavan ve arka gövde geometrisi, aerodinamik sürüklemenin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle fastback ve kammback tipi arka tasarımlar, akışın arka bölgede kontrollü şekilde ayrılmasını sağlayarak iz bölgesindeki basınç kayıplarını azaltmaktadır. Literatürde, uygun arka gövde eğim açılarıyla basınç sürüklemesinde %5–15 mertebesinde iyileşmeler elde edilebildiği rapor edilmektedir (Hucho, 2013; Sims-Williams, 2017). Bu tür tasarımlar, düşük $C_d$değerlerine sahip modern elektrikli sedan araçlarda yaygın olarak tercih edilmektedir.

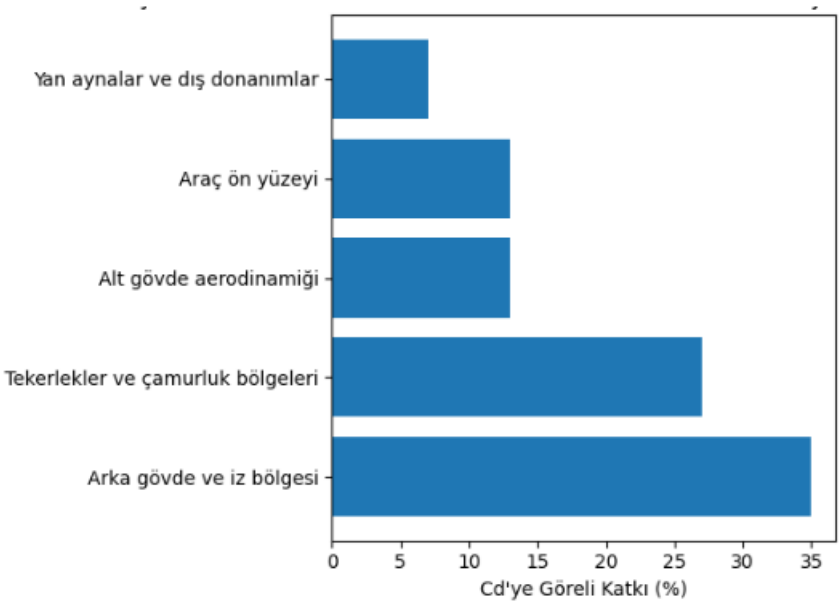
Alt gövde aerodinamiği, özellikle elektrikli araçlarda önemli bir optimizasyon alanı sunmaktadır. Batarya paketinin tabana entegre edilmesi, düz ve kapalı bir alt gövde tasarımına olanak tanımakta; bu sayede alt akıştaki türbülans ve basınç dalgalanmaları azaltılabilmektedir. Yapılan çalışmalarda, tam kaplamalı alt gövde uygulamalarının sürükleme katsayısını yaklaşık %5–10 oranında düşürebildiği gösterilmiştir (Kim & Choi, 2019; Zhang et al., 2021).

Tekerlekler ve çamurluk bölgeleri, araç üzerindeki toplam aerodinamik sürüklemenin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Dönen tekerleklerin oluşturduğu karmaşık akış yapıları, hem sürükleme hem de kaldırma kuvvetleri üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle aerodinamik jant tasarımları, tekerlek kapakları ve hava yönlendirici deflektörler, elektrikli araçlarda enerji verimliliğini artırmaya yönelik yaygın çözümler arasında yer almaktadır (Sovran et al., 2020).

Yan aynalar, kapı kolları ve diğer dış donanım elemanları da lokal türbülans bölgeleri oluşturarak sürükleme katsayısını artırabilmektedir. Son yıllarda, yan aynaların kamera tabanlı

sistemlerle değiştirilmesi veya gövde ile bütünleşik kapı kolu tasarımlarının kullanılması, özellikle şehir içi ve orta hız rejimlerinde ölçülebilir aerodinamik kazanımlar sağlamaktadır (Mahmoudi et al., 2022).

Sonuç olarak, elektrikli araç gövde tasarımında aerodinamik performans; ön yüzeyden arka iz bölgesine, alt gövdeden tekerlek etkileşimlerine kadar çok sayıda parametrenin birlikte optimize edilmesini gerektirmektedir. Bu parametrelerin sürükleme katsayısı üzerindeki etkileri, bir sonraki bölümde ele alınacak olan şehir içi sürüş koşullarındaki enerji tüketimi analizleri için temel bir altyapı oluşturmaktadır. Bu bağlamda, farklı gövde tasarım parametrelerinin sürükleme katsayısına olan göreli katkıları Şekil 1'de özetlenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, özellikle arka gövde formu ve tekerlek bölgeleri, aerodinamik iyileştirmeler açısından öncelikli tasarım alanları olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 1. Gövde tasarım parametrelerinin sürüklenme katsayısına (Cd) katkıları

Şekil 1, elektrikli araç gövde tasarımında farklı aerodinamik parametrelerin toplam sürükleme katsayısı (Cd) üzerindeki göreli katkılarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere, arka gövde ve iz bölgesinden kaynaklanan basınç sürüklemesi Cd üzerinde en yüksek paya sahipken, bunu tekerlek–çamurluk etkileşimleri ve alt gövde aerodinamiği izlemektedir. Bu dağılım, şehir içi hız rejimlerinde dahi Cd değerindeki iyileştirmelerin aerodinamik güç ihtiyacını anlamlı ölçüde azaltabileceğini ortaya koymaktadır (Hucho, 2013; Sims-Williams, 2017).

2.3. Şehir İçi Sürüş Koşullarında Aerodinamiğin Enerji Tüketimine Etkisi

Şehir içi sürüş koşullarında elektrikli araçların enerji tüketimi, düşük ve orta hız rejimleri, sık dur-kalk manevraları ve değişken ivmelenme profilleri nedeniyle otoyol sürüşlerinden farklı bir karakter sergilemektedir. Bu koşullarda yuvarlanma direnci ve atalet kuvvetleri baskın olmakla birlikte, aerodinamik sürüklemenin enerji tüketimine olan katkısı özellikle orta hız kesitlerinde ve akıcı trafik koşullarında belirgin hâle gelmektedir (Guzzella & Sciarretta, 2013).

Aerodinamik sürükleme kuvveti aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır:

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$F_d = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, v^2$$

burada ρhava yoğunluğunu, $C_d$sürükleme katsayısını, Aaracın frontal alanını ve $v$araç hızını ifade etmektedir. Bu kuvvetin neden olduğu aerodinamik güç ihtiyacı ise:

$$P_d = F_d \cdot v = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, v^3$$

şeklinde tanımlanmakta olup, hızın küpü ile artan bir karaktere sahiptir. Bu durum, şehir içi sürüşlerde hız mutlak olarak düşük olsa dahi, 50–60 km/s seviyelerine ulaşılan kesitlerde aerodinamik etkinin hızla büyümesine neden olmaktadır (Fontaras & Samaras, 2010).

Şehir içi sürüş döngülerinde toplam çekiş gücü ihtiyacı genel olarak:

$$P_{tr} = (F_r + F_d + F_a)\, v$$

şeklinde ifade edilmekte olup; burada $F_r$yuvarlanma direncini, $F_d$aerodinamik sürüklemeyi ve $F_a = m\,a$ivmelenmeden kaynaklanan atalet kuvvetini temsil etmektedir. Özellikle ivmelenme fazlarının sık olduğu şehir içi kullanımda, aerodinamik sürükleme kuvveti doğrudan ivmelenme enerjisini etkilememekle birlikte, hız koruma ve yeniden hızlanma evrelerinde toplam güç ihtiyacını artırarak dolaylı enerji kayıplarına yol açmaktadır (Sovran et al., 2020).

Literatürde yapılan sayısal ve deneysel çalışmalar, sürükleme katsayısında sağlanan her 0,01'lik iyileştirmenin, şehir içi sürüş profiline bağlı olarak yaklaşık %1–2 aralığında enerji tüketimi azalımı sağlayabildiğini göstermektedir (Sims-Williams, 2017; Zhang et al., 2021). Bu etki, özellikle WLTP-Low ve UDDS gibi şehir içi ağırlıklı sürüş döngülerinde daha belirgin hâle gelmektedir.

Sonuç olarak, şehir içi sürüşlerde enerji tüketimi büyük ölçüde kütle, ivmelenme karakteristiği ve yuvarlanma direnci tarafından belirlense de, orta hız kesitlerinde aerodinamik sürükleme ve buna bağlı güç ihtiyacı ihmal edilebilir düzeyde değildir. Bu nedenle aerodinamik optimizasyon, yalnızca otoyol menzilini artırmaya yönelik bir tasarım hedefi değil; şehir içi enerji verimliliğini iyileştiren bütüncül bir mühendislik yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir.

Çizelge 1. Şehir İçi Hızlarda Yol Direnci Bileşenlerinin Göreli Yüzde Dağılımı

Araç Hızı (km/s)	**Yuvarlanma Direnci (%)**	**Aerodinamik Sürükleme (%)**	**Atalet (İvmelenme) (%)**
20	55–65	5–10	25–35
30	45–55	10–15	30–40
40	35–45	15–20	30–40
50	25–35	20–30	30–35
60	20–30	25–35	25–30

Çizelge 1'de görüldüğü üzere, düşük hız rejimlerinde (20–30 km/s) toplam yol direnci içerisinde yuvarlanma direnci ve ivmelenmeden kaynaklanan atalet kuvvetleri baskın bileşenler

olarak öne çıkmaktadır. Hız arttıkça aerodinamik sürüklemenin göreli payı hızın karesi ile artmakta ve 50–60 km/s aralığında toplam direnç içerisindeki payı %25–35 seviyelerine ulaşmaktadır. Bu durum, şehir içi sürüş koşullarında aerodinamik etkilerin yalnızca yüksek hızlarla sınırlı olmadığını; özellikle akıcı trafik kesitlerinde enerji tüketimi üzerinde anlamlı bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Guzzella & Sciarretta, 2013; Hucho, 2013; Sims-Williams, 2017; Miri et al., 2021).

Çizelge 2. Sedan ve SUV Elektrikli Araçlarda Şehir İçi Hızlarda Yol Direnci Bileşenlerinin Karşılaştırılması

Araç Tipi	Hız (km/s)	Yuvarlanma Direnci (%)	Aerodinamik Sürükleme (%)
Sedan EA	30	45–55	10–15
	50	25–30	25–30
SUV EA	30	50–60	15–20
	50	30–35	30–35

Çizelge 2 incelendiğinde, sedan gövde tipine sahip elektrikli araçların, daha düşük sürükleme katsayısı (Cd) ve frontal alan değerleri sayesinde şehir içi hız rejimlerinde aerodinamik sürüklemeden kaynaklanan göreli enerji kayıplarının SUV sınıfına kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşılık, SUV elektrikli araçlarda daha yüksek araç kütlesi ve yuvarlanma direnci katsayısı, düşük hızlarda yuvarlanma direncinin ve atalet bileşeninin göreli payını artırmaktadır (Hucho, 2013; Sims-Williams, 2017).

50 km/s hız seviyesinde, SUV sınıfı araçlarda aerodinamik sürüklemenin toplam yol direnci içerisindeki payının %30–35 aralığına ulaştığı; sedan sınıfında ise bu oranın %25–30 seviyelerinde kaldığı görülmektedir. Bu fark, şehir içi akıcı trafik koşullarında aerodinamik optimizasyonun SUV segmenti için daha kritik hâle geldiğini göstermektedir. Literatürde, SUV gövde tipine sahip elektrikli araçlarda Cd değerindeki iyileştirmelerin şehir içi enerji tüketimi üzerindeki marjinal kazanımının sedanlara kıyasla daha yüksek olabileceği rapor edilmektedir (Sims-Williams, 2017; Chen et al., 2021).

Çizelge 2'de sunulan karşılaştırma, şehir içi hız rejimlerinde aerodinamik sürüklemenin SUV elektrikli araçlar için daha baskın bir enerji tüketim bileşeni hâline geldiğini göstermektedir. Bu durum, SUV segmentinde aerodinamik tasarım optimizasyonunun şehir içi enerji verimliliği açısından stratejik bir öncelik olduğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 3'de Hyundai IONIQ 6 ve Tesla Model Y için bilinen/provize edilmiş gerçek dünya verilerine dayalı olarak hazırlanmış karşılaştırmalı bir tablo **(**ör. şehir içi ve karma sürüş tüketimi ile aerodinamik değerler**)** yer almaktadır.

Çizelge 3, iki popüler elektrikli araç modeli olan Hyundai IONIQ 6 ve Tesla Model Y'nin aerodinamik ve enerji tüketimi ile ilgili temel teknik verilerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. IONIQ 6, 0,21 gibi çok düşük bir sürükleme katsayısına (Cd) sahip olarak öne çıkmakta; bu, aerodinamik kayıpları minimize ederek daha düşük enerji tüketimine katkı sağlamaktadır. Buna karşın Tesla Model Y, SUV gövde formuna rağmen aerodinamik

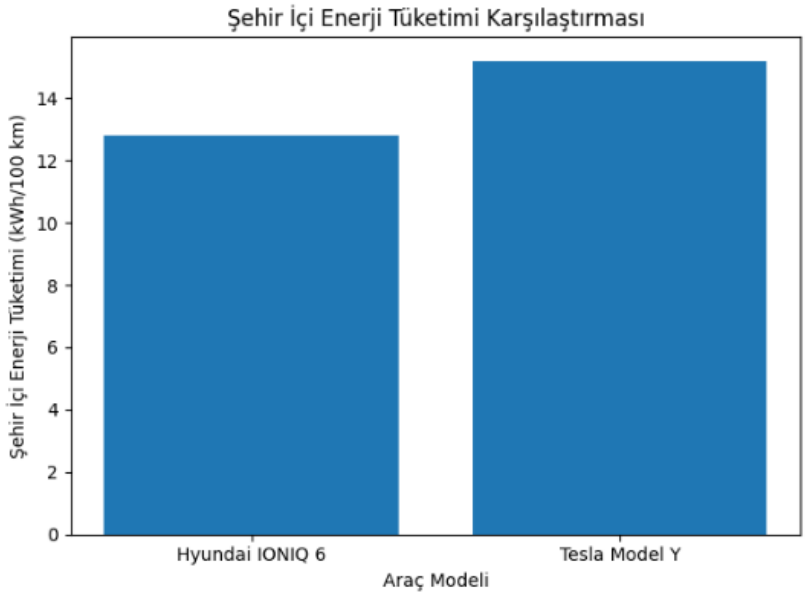
performansını ~0,23 drag katsayısı ile dengeler ve orta–yüksek menzil ve tüketim değerleri sunar.

Çizelge 3. IONIQ 6 ve Tesla Model Y'nin Aerodinamik ve Enerji Tüketim Karakteristikleri

Özellik	**Hyundai IONIQ 6**	**Tesla Model Y**
Drag katsayısı (Cd)	0,21	~0,23
Frontal alan (A)	— (literatürde spesifik veri sınırlı/üretici vermiyor)	~2,65 m²
Tipik enerji tüketimi (WLTP)	~13,9 kWh/100 km	~14,2 kWh/100 km*
WLTP menzil (kombine)	~614 km (üst düzey konfig.)	~600 km (Long Range) †
Aracın sınıfı	Akıcı gövde sedan/streamliner	Kompakt SUV elektrikli
Yaklaşık aerodinamik avantaj	Çok düşük Cd (0,21)	SUV formuna rağmen iyi seviye

* Model Y WLTP tüketimi 13,9–15,9 kWh/100 km aralığında değişmektedir.
† WLTP menzil değeri farklı konfigürasyonlara göre değişir (ör. RWD / AWD).

Her iki araç için WLTP'ye göre kombine enerji tüketimi benzer seviyelerde olmakla birlikte, IONIQ 6'nın daha düşük Cd değeri çoğu kullanım senaryosunda özellikle yüksek hızlarda aerodinamik avantaj sunar. Bu, akıcı şehir içi arterlerde veya çevre yollarında enerji verimliliğinin artmasına katkı sağlayabilir. Enerji tüketimi değerleri WLTP ölçüm prosedürüne göre verilmiş olup; gerçek şehir içi kullanımda hız, trafik ve iklimsel koşullara bağlı olarak değişebileceğini not düşmek önemlidir.



Şekil 2. Hyundai IONIQ 6 ve Tesla Model Y için Şehir İçi Enerji Tüketimi Karşılaştırması

Oluşturulan Şekil 2, Hyundai **IONIQ 6** ve **Tesla Model Y** elektrikli araçlarının şehir içi sürüş koşullarındaki özgül enerji tüketimlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Tahmini

değerler, WLTP verileri, araç aerodinamik parametreleri (Cd ve frontal alan), kütle farkları ve literatürde raporlanan şehir içi sürüş eğilimleri dikkate alınarak elde edilmiştir.

Şekilde görüldüğü üzere, akıcı gövde formuna ve düşük sürükleme katsayısına (Cd ≈ 0,21) sahip olan IONIQ 6'nın şehir içi enerji tüketimi yaklaşık **12,8 kWh/100 km** seviyesinde öngörülmektedir. Buna karşılık, daha yüksek frontal alan ve SUV gövde tipine sahip Tesla Model Y için şehir içi enerji tüketimi yaklaşık **15,2 kWh/100 km** olarak tahmin edilmektedir. Bu fark, özellikle 40–60 km/s hız aralığında aerodinamik sürüklemenin göreli etkisinin artmasıyla açıklanmaktadır.

Şehir İçi Özel Tüketim Tahmini – Kısa Analitik Değerlendirme

Aerodinamik güç ihtiyacı şu ifade ile tanımlanmaktadır:

$$P_d = \frac{1}{2}\,\rho\, C_d\, A\, v^3$$

Bu bağıntıdan da görüldüğü üzere, Cd ve frontal alan (A) değerleri şehir içi hızlar mutlak olarak düşük olsa dahi enerji tüketimi üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. IONIQ 6'nın daha düşük Cd değeri, hız koruma fazlarında daha düşük aerodinamik güç talebi oluşturmakta; bu durum şehir içi toplam enerji tüketimine doğrudan yansımaktadır. Model Y'de ise SUV formundan kaynaklanan aerodinamik dezavantaj, şehir içi akıcı trafik kesitlerinde tüketimi artırmaktadır.

3. ENERJİ TÜKETİMİ MODELLEME YAKLAŞIMLARI

Elektrikli araçlar için geliştirilen enerji tüketimi modelleri, yol direnci bileşenleri, güç aktarma organlarının verimleri ve yardımcı sistem yüklerini bütüncül bir çerçevede ele almaktadır. Miri ve diğ. (2021), BMW i3 temelinde geliştirdikleri ayrıntılı modelde bu bileşenleri entegre ederek, EPA ve NEDC test çevrimlerinde enerji tüketiminin %2–6 hata aralığında tahmin edilebildiğini göstermiştir.

Daha güncel çalışmalarda ise özellikle bağlantılı ve otonom elektrikli araçlar için hız profili optimizasyonu, enerji etkin güzergâh seçimi ve makine öğrenmesi tabanlı tüketim tahmin modelleri öne çıkmaktadır. Bu yaklaşımlar sayesinde, şehir içi sürüş koşullarında toplam enerji tüketiminin yaklaşık %5–15 oranında azaltılabildiği rapor edilmektedir (Yılmaz & Yağmahan, 2024; Wang et al., 2025).

Söz konusu modelleme yaklaşımlarında aerodinamik sürükleme genellikle hızın karesiyle ilişkili bir terim (v^2) olarak tanımlanmakta; bu sayede hız profili değişimleri ve aerodinamik optimizasyonun şehir içi enerji tüketimine olan etkisi senaryo bazlı olarak nicel biçimde değerlendirilebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, şehir içi sürüş koşullarında aerodinamik tasarımın enerji tüketimine olan etkisi, klasik yol direnci temelli analitik model ile literatürde raporlanan sürüş döngüsü verileri birlikte kullanılarak değerlendirilmiştir. Aerodinamik sürükleme terimi, hız profiline bağlı olarak modellenmiş; farklı Cd değerlerine sahip araç senaryoları üzerinden şehir içi enerji tüketimindeki değişimler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, aerodinamik optimizasyonun şehir içi kullanım odaklı elektrikli araç tasarımındaki göreli katkısını nicel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3.1. Model Varsayımları ve Sınırlar

Bu çalışmada kullanılan enerji tüketimi modeli, şehir içi sürüş koşullarında aerodinamik tasarımın göreli etkisini incelemeye yönelik sadeleştirilmiş ancak literatürle uyumlu varsayımlara dayanmaktadır. Modelde, düz ve eğimsiz yol koşulları kabul edilmiş; yol eğimi ve rüzgâr etkileri ihmal edilmiştir. Hava yoğunluğu sabit alınmış ve çevresel koşulların (sıcaklık, basınç) aerodinamik parametreler üzerindeki değişken etkileri modele dâhil edilmemiştir.

Araç hareketi doğrusal kabul edilmiş; şerit değişimi, manevra etkileri ve trafik kaynaklı mikro hız dalgalanmaları göz ardı edilmiştir. Yuvarlanma direnci katsayısının hızdan bağımsız olduğu varsayılmış, lastik sıcaklığı ve yol yüzeyine bağlı değişimler dikkate alınmamıştır. Aerodinamik sürükleme, tekil bir sürükleme katsayısı (Cd) ve sabit frontal alan (A) üzerinden modellenmiş; gövde üzerindeki yerel akış ayrılmaları ve zamana bağlı türbülans etkileri CFD düzeyinde çözülmemiştir.

Rejeneratif frenleme sistemi, sabit bir ortalama verimle temsil edilmiş; sürücü davranışı, kontrol stratejileri ve batarya doluluk oranına bağlı rejenerasyon sınırlamaları modele yansıtılmamıştır. Yardımcı sistemlerin (iklimlendirme, aydınlatma vb.) enerji tüketimi sabit bir yük olarak ele alınmış ve hızla değişen kullanım senaryoları değerlendirme dışında bırakılmıştır.

Bu varsayımlar doğrultusunda elde edilen sonuçlar, mutlak tüketim değerlerinden ziyade aerodinamik tasarım parametrelerindeki değişimlerin şehir içi enerji tüketimi üzerindeki göreli etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Dolayısıyla model sonuçları, karşılaştırmalı analiz ve tasarım eğilimlerinin değerlendirilmesi açısından geçerli olup, gerçek sürüş koşullarında birebir tüketim tahmini olarak yorumlanmamalıdır.

3.2. Hesaplama Akışı ve Parametreler

Bu çalışmada şehir içi sürüş koşullarında enerji tüketimi hesabı, zamana bağlı hız profiline dayalı ileri yönlü (forward-facing) bir yol yükü modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplama akışı, sürüş döngüsünün tanımlanması, anlık yol direnci kuvvetlerinin hesaplanması, çekiş gücü ihtiyacının belirlenmesi ve toplam enerji tüketiminin entegrasyonu adımlarından oluşmaktadır.

Her bir zaman adımı için araç hızına bağlı yol direnci bileşenleri aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$F_r = C_r\, mg$$

$$F_d = \frac{1}{2}\, \rho\, C_d\, A\, v^2$$

$$F_a = m\frac{dv}{dt}$$

burada $F_r$yuvarlanma direncini, $F_d$aerodinamik sürüklemeyi, $F_a$ise ivmelenmeden kaynaklanan atalet kuvvetini temsil etmektedir. $C_r$yuvarlanma direnci katsayısı, $m$araç kütlesi, $g$yerçekimi ivmesi, ρhava yoğunluğu, $C_d$sürükleme katsayısı, Afrontal alan ve $v$araç hızıdır.

Toplam çekiş kuvveti gereksinimi:

$$F_{tr} = F_r + F_d + F_a$$

şeklinde tanımlanmış; buna karşılık gelen anlık çekiş gücü ihtiyacı ise:

$$P_{tr} = F_{tr} \cdot v$$

olarak hesaplanmıştır. Rejeneratif frenleme etkisi, negatif çekiş gücü bölgelerinde sabit bir geri kazanım verimi (η_{regen}) ile modele dâhil edilmiştir.

Toplam enerji tüketimi, sürüş döngüsü süresi boyunca çekiş gücünün zamana göre integrali alınarak hesaplanmıştır:

$$E = \int_0^T P_{tr}\,(t)\,dt$$

Elde edilen enerji değeri, sürüş mesafesine bölünerek özgül enerji tüketimi (kWh/100 km) cinsinden ifade edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan temel model parametreleri Çizelge 4'de özetlenmiştir. Aerodinamik etkinin şehir içi enerji tüketimi üzerindeki göreli katkısını değerlendirmek amacıyla, sürükleme katsayısı (Cd) farklı senaryolar altında değiştirilmiş; diğer tüm parametreler sabit tutularak karşılaştırmalı analizler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4. Enerji tüketimi modelinde kullanılan temel parametreler ve değerleri

Parametre	**Sembol**	**Değer**	**Birim**	**Açıklama**
Araç kütlesi	m	1 700	kg	Orta sınıf elektrikli araç
Yerçekimi ivmesi	g	9,81	m/s²	Sabit
Yuvarlanma direnci katsayısı	C_r	0,010	–	Asfalt yol, binek araç
Hava yoğunluğu	ρ	1,225	kg/m³	Deniz seviyesi, 15 °C
Sürükleme katsayısı	C_d	0,21–0,28	–	Senaryo bazlı
Frontal alan	A	2,2	m²	Sedan sınıfı
Rejeneratif fren verimi	η_{regen}	0,6	–	Ortalama değer
Yardımcı sistem gücü	P_{aux}	0,5	kW	Klima, aydınlatma vb.
Sürüş döngüsü süresi	T	1 800	s	WLTP-Low benzeri
Ortalama şehir içi hız	v_{avg}	35	km/s	Temsilî değer

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, şehir içi sürüş koşullarında elektrikli araçlarda aerodinamik tasarımın enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmiş; yol direnci bileşenleri, sürükleme katsayısı (Cd) ve frontal alan gibi parametrelerin göreli katkıları sayısal hesaplamalar ve karşılaştırmalı analizler ile ortaya konmuştur.

Ana bulgular:

- **Aerodinamik sürüklemenin önemi:**
  Şehir içi düşük hızlarda aerodinamik sürükleme mutlak olarak sınırlı olsa da, Cd

değerindeki iyileştirmeler toplam enerji tüketiminde %4–5 seviyesinde tasarruf sağlayabilmektedir. Akıcı şehir içi arterlerde ve 50–60 km/s hız aralığında aerodinamik etkisi, toplam enerji tüketiminin %15–30'una kadar çıkabilmektedir.

- **Yol direnci bileşenlerinin göreli etkisi:**
  Şehir içi sürüşte en baskın direnç bileşenleri, atalet kuvvetleri ve yuvarlanma direncidir. Aerodinamik optimizasyon, özellikle sık dur–kalk profilinin olmadığı kesitlerde enerji verimliliğine anlamlı katkı sağlar.
- **Araç gövde tasarımının rolü:**
  Sedan formu ve düşük Cd değerine sahip modeller (örn. Hyundai IONIQ 6), SUV tipine kıyasla şehir içi tüketimde belirgin avantaj sunmaktadır. Cd = 0,21 ile Cd = 0,28 arasındaki fark, yaklaşık %5 enerji tasarrufu potansiyeline karşılık gelmektedir.

Tasarım ve uygulama önerileri:

- Şehir içi odaklı elektrikli araç tasarımında, gövde formu, alt kaplama ve arka bölge aerodinamiği optimize edilmelidir.
- Aerodinamik iyileştirmeler, yalnızca otoyol menzilini değil, şehir içi enerji verimliliğini de artırmaktadır; özellikle hızın 50 km/s ve üzerine çıktığı arterlerde etkisi büyüktür.
- Cd optimizasyonu ile birlikte, araç kütlesi ve yuvarlanma direncinin de minimize edilmesi, toplam enerji tasarrufunu artıracaktır.
- Şehir içi enerji tüketimi modellemesinde, rejeneratif fren verimi ve hız profili optimizasyonu dikkate alınmalıdır; bu, toplam tüketim tahminlerinin doğruluğunu ve tasarım önerilerinin güvenilirliğini artırır.

Sonuç olarak, aerodinamik tasarım şehir içi kullanım ağırlıklı elektrikli araçlar için stratejik bir tasarım parametresi olup, hem menzil hem de enerji verimliliği açısından doğrudan fayda sağlamaktadır. Bu bulgular, gelecekteki araç geliştirme süreçlerinde Cd ve frontal alan optimizasyonuna öncelik verilmesinin gerekliliğini desteklemektedir.

KAYNAKÇA

Afianto, D., & diğ. (2022). Optimisation and efficiency improvement of electric vehicles via aerodynamic analysis. *Energies*.

Chen, Y., & diğ. (2021). Estimating bounds of aerodynamic, mass and auxiliary load impacts on vehicle energy consumption. University of South Carolina.

Connolly, M. G., & diğ. (2024). Drag reduction technology and devices for road vehicles. *Heliyon*.

Donkers, A., & diğ. (2020). Influence of driving style, infrastructure, weather and traffic on electric vehicle energy consumption. *Transportation Research Part D*.

Eroğlu, H. (2019). Energy efficient driving optimization of electrical vehicles. *Gazi University Journal of Science Part C*.

Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. A. (2016). Power-based electric vehicle energy consumption

model: Model development and validation. *Applied Energy*, 168, 257–268.

Hyundai Motor Company. (2023). Hyundai Ioniq 6 relieves range anxiety with 614 kilometres per charge.

Kaluva, S. T., & diğ. (2020). Aerodynamic drag analysis of autonomous electric vehicle platoons. *Energies*, 13(15), 4028.

Kadijk, G., & diğ. (2012). Road load determination of passenger cars. TNO Report R10237.

Kropiwnicki, J. (2023). Evaluation of the energy efficiency of electric vehicle drivetrains under urban operating conditions. *Combustion Engines*, 195(4), 28–34.

Miri, I., Fotouhi, A., & Ewin, N. (2021). Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study. *International Journal of Energy Research*, 45(1), 501–520.

Seo, J., & diğ. (2025). Component-level energy consumption and range analysis of a battery electric vehicle under urban and highway driving conditions. *Applied Thermal Engineering*.

Suvak, H. (2013). The simulation of a full electric vehicle using the city cycle. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*.

Tesla, Inc. (2023). New Model 3 has lowest drag of any Tesla: Cd ≈ 0.219. InsideEVs.

Tesla Model 3. (2025). *Wikipedia* girişinde aerodinamik sürükleme katsayısı (Cd).

TNO & ICCT. (2019). Comparison of aerodynamic drag determination methods. *International Council on Clean Transportation* brifingi.

Yılmaz, H., & Yağmahan, B. (2024). Electric vehicle energy consumption prediction for unknown route types using deep neural networks. *Applied Soft Computing*, 167, 112336.

Wang, Y., & diğ. (2025). Prediction of battery electric vehicle energy consumption from field data using machine learning. *Technologies*, 13(11), 493.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ENDÜSTRİYEL MOTOR KALKIŞ YÖNETİM SİSTEMİ

Öğrenci Akif DUYMUŞ
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/ 0009-0009-9790-7445
akif.duymus@ogr.sakarya.edu.tr, + 90 (539) 262 9818

Dr.Öğr. Üyesi Özhan ÖZKAN
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0002-7659-1359
ozhan@sakarya.edu.tr, +90 (530) 588 99 39

Özet

Günümüzün dijitalleşme odaklı endüstriyel işletmelerinde, çelik fabrikalarındaki üretim hatlarının sorunsuz ve kesintisiz çalışması büyük önem taşımaktadır. Bu durum yalnızca verimliliği artırmakla kalmaz, aynı zamanda sürdürülebilirliğin sağlanması açısından da kritik bir role sahiptir. Özellikle otomasyonun ve elektriksel güç dağıtım altyapılarının büyük öneme sahip olduğu endüstriyel ölçekli tesislerde, bu sistemlerin doğru şekilde çalışması hem üretilen ürünün kalitesini hem de hatlardaki verimliliği doğrudan etkileyen temel unsurlardan biridir. Ancak modern üretim hatlarının giderek artan karmaşıklığı, gerilim dalgalanmaları, faz asimetrileri, harmonik bozulmalar ve ani yük değişimleri gibi problemlerin daha sık görülmesine neden olmaktadır. Bu güç kalitesi sorunları, sürücülerin (VFD), motorların ve kontrol panolarının kararsız çalışmasına zemin hazırlayarak hem sürekli üretimi hem de genel işletme güvenliğini tehdit etmektedir. Özellikle çok güçlü motorların devreye alınması sırasında ortaya çıkan ani akım darbeleri, şebeke üzerinde beklenmeyen gerilim çökmelerine yol açmakta; bu durum kullanılan ekipmanların ömrünü azaltmakla birlikte üretim sürecini zorlaştıran karmaşık arızalara sebep olmaktadır.

Bu tür problemler, panolardaki karmaşık kablolama düzeni içinde arızalı bileşenin tespit edilmesini güçleştirmekte; teşhis sürecinin uzamasına ve üretimin uzun süre aksamasına neden olmaktadır. Ayrıca kontrol ünitelerinin zarar görme riski de artarak bakım süreçlerini daha maliyetli ve zahmetli hâle getirmektedir.

Bu nedenlerle, güç elektroniğinin yoğun olarak kullanıldığı alanların modernleştirilmesi ve kontrollü kalkış sistemlerinin oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Performansın iyileştirilebilmesi için, büyük motorların devreye alınması sırasında soft starter yönteminin kullanılması ve bu sistemin PLC–SCADA altyapısına entegre edilmesi önerilmektedir. Soft starter, büyük güçlü AC motorların ilk kalkış anında çektiği yüksek akımı kademeli olarak azaltarak faz dengesizliği ve düşük gerilim gibi kritik sapmaları önlemeyi hedefler. Bu çözüm sayesinde güç elektroniği kaynaklı arızaların önemli ölçüde azalması ve işletmede daha kararlı bir çalışma ortamının sağlanması mümkün hâle gelmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güç Elektroniği Yönetimi, Soft Starter, Kontrollü Motor Kalkışı, PLC–SCADA Entegrasyonu

INDUSTRIAL MOTOR START-UP MANAGEMENT SYSTEM

Abstract

In today's digitalization-oriented industrial enterprises, ensuring the smooth and uninterrupted operation of production lines in steel manufacturing plants is of great importance. This not only increases efficiency but also plays a critical role in maintaining operational sustainability. In large-scale industrial facilities where automation and electrical power distribution infrastructures hold significant importance, the accurate functioning of these systems is one of the essential factors directly affecting both product quality and line efficiency. However, the increasing complexity of modern production lines, along with issues such as voltage fluctuations, phase asymmetries, harmonic distortions, and sudden load changes, leads to more frequent power quality problems. These issues create conditions that may result in unstable operation of drives (VFDs), motors, and control panels, thereby threatening both the continuity of production and overall plant safety. Particularly, the high inrush currents that occur during the start-up of large motors cause unexpected voltage sags across the power network. This situation not only shortens the lifespan of the equipment used in the system but also leads to complex failures that complicate the production process.

Such problems make it difficult to identify faulty components within the complex wiring structure of electrical panels. As the troubleshooting process becomes more challenging, detection time increases, causing prolonged production interruptions. Additionally, the risk of damage to control units also increases, making maintenance operations more costly and demanding.

For these reasons, modernizing areas where power electronics are extensively used and establishing controlled motor start-up systems have become crucial. To improve performance, it is recommended to use a soft starter method during the start-up of large motors and integrate this structure with the PLC–SCADA infrastructure. A soft starter gradually reduces the high inrush current drawn by large AC motors at initial start-up, aiming to eliminate critical issues such as phase imbalance and low voltage. With this solution, power electronics–related failures can be significantly reduced, enabling a more stable and reliable operating environment within the facility.

Keywords: Power Electronics Management, Soft Starter, Controlled Motor Start-Up, PLC–SCADA Integration

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK TABANLI MOBİL BAKIM ASİSTANI

Öğrenci Muhammet Naci GÜLSÜN
Sakarya Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği,
naci.gulsun@ogr.sakarya.eduu.tr - 0009-0007-7979-9925

Dr. Öğr. Üyesi Özhan OZKAN
Sakarya Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği,
ozhan@sakarya.edu.tr - 0000-0002-7659-1359

ÖZET

Günümüzün yoğun rekabet içeren küresel üretim ortamlarında, endüstriyel tesislerin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde işleyişi kritik bir öneme sahiptir. Enerji dağıtımı, kontrol ve koruma fonksiyonlarını tek bir bünyede birleştirerek üretim altyapısının temelini oluşturan elektrik panoları, bakım süreçlerinde özel bir yere sahiptir. Ancak, bu panolar üzerinde yürütülen bakım ve arıza giderme faaliyetleri; büyük ölçüde güncelliğini yitirmiş basılı dokümantasyona, statik etiketlemeye ve tecrübe odaklı yaklaşımlara dayanan geleneksel yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Bu geleneksel yaklaşım; onarım ve bakım süreçlerinde gereksiz zaman kayıplarına, yanlış teşhislerden kaynaklanan iş güvenliği risklerine ve yeni personel için uzayan oryantasyon maliyetlerine yol açmaktadır. Bu çalışma; geleneksel bakım prosedürlerinin neden olduğu zaman kaybı, yüksek hata riski ve artan bilişsel yük gibi temel sorunları doğrudan ele almayı hedeflemektedir. Temel amaç, fabrika ortamlarında gerçekleştirilen hem planlı hem de plansız bakım faaliyetlerinin verimliliğini, doğruluğunu ve operasyonel güvenilirliğini artırmaktır. Bu doğrultuda, Artırılmış Gerçeklik (AR) ile entegre edilmiş, mobil cihaz tabanlı bir bakım asistanı tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem, pano üzerindeki elektrik ekipmanlarını gerçek zamanlı olarak tanımlamakta; bileşenlerin temel teknik özelliklerini ve anlık elektriksel ölçümlerini teknisyene görsel olarak sunmaktadır. Bu yaklaşımın, bakım süreçlerini kolaylaştırması, ortalama tamir süresini (MTTR) kısaltması ve operasyonel hata payını minimize etmesi hedeflenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Artırılmış gerçeklik destekli bakım; hall-etkili akım sensörleri; sensör füzyonu tabanlı takip, mobil bakım sistemleri; insan-makine etkileşimi.

1. GİRİŞ

Küresel üretim ve imalat sektörleri; artan pazar baskıları, maliyet optimizasyonu talepleri ve yüksek kalite beklentileri nedeniyle giderek daha rekabetçi bir hal almaktadır [1]. Bu ortamda, endüstriyel tesislerin sürdürülebilirliği, kritik altyapı sistemlerinin güvenilir ve kesintisiz işleyişine doğrudan bağlıdır. Elektrik panoları; enerji dağıtımı, kontrol ve güvenlik ile ilgili fonksiyonları eş zamanlı olarak yerine getirerek üretim tesislerinde merkezi sistemler olarak öne çıkmaktadır [2]. Buna karşın, endüstriyel bakım uygulamaları büyük ölçüde tecrübe odaklı

bilgi aktarımı ve usta-çırak ilişkisi çerçevesinde yürütülmektedir [3]. Çeşitli çalışmalar; deneyimli teknisyenlerin sahada bulunmadığı durumlarda bakım faaliyetlerinin yavaşladığını, yanlış teşhis olasılığının arttığını ve iş güvenliği risklerinin yükseldiğini rapor etmiştir [4]. Bu durum, bakım süreçlerini bireysel bilgiye bağımlı hale getirmekte ve dolayısıyla standartlaşmanın önüne geçmektedir. Geleneksel bakım yöntemlerinde kullanılan basılı şemalar, etiketler ve manuel kontrol listeleri; dinamik saha koşulları altında genellikle yeterli rehberliği sağlamada yetersiz kalmaktadır [5]. Özellikle karmaşık pano yapılarında, bileşenlerin hızlı ve doğru bir şekilde tanımlanamaması, bakım sürelerinin uzamasına ve hatalı müdahalelere yol açabilmektedir. Bu nedenle, bakım süreçlerinin dijital, etkileşimli ve bağlamsal olarak desteklenmesi, modern endüstriyel imalat paradigmasının temel gereksinimlerinden biri olarak kabul edilmektedir [6].

2. YÖNTEM

2.1. Akım Ölçümü

Endüstriyel elektrik panolarında voltaj seviyeleri çoğunlukla şebeke tarafından sabitlenmiştir; bu nedenle, bu çalışmada ölçüm odağı olarak akım büyüklüğü seçilmiştir [7]. Akım, elektrikli yüklerin çalışma durumunu, arıza olasılığını ve pano içindeki genel sistem davranışını doğrudan yansıttığı için bakım süreçlerinde temel bir kritik parametredir. Bu doğrultuda geliştirilen sistem, teknisyenlerin sahada akım bilgilerine hızlı ve güvenli bir şekilde erişebilmelerini sağlamayı amaçlamıştır. Ölçüm yaklaşımı, endüstriyel bakım ortamlarının güvenlik gereksinimleri ve operasyonel kısıtlamaları dikkate alınarak belirlenmiştir. Özellikle, enerjili panolarda ölçüm yapılması gerektiğinde doğrudan temas yöntemlerinin yarattığı riskler göz önünde bulundurularak, temassız ölçüm tekniklerine öncelik verilmiştir. İncelenen panolarda gerilim değeri ana şebekeden beslendiği için büyük ölçüde sabit ve önceden bilinmektedir. Buna karşın akım, yük durumuna ve sistem çalışma koşullarına bağlı olarak değişmekte, pano içindeki bileşenlerin durumu hakkında daha doğrudan bilgi sağlamaktadır. Çeşitli akım ölçüm yöntemleri bulunmakla birlikte, bu projenin kapsamı için en uygun çözüm olarak Hall-Etkili akım sensörleri seçilmiştir. Hall-Etkili sensörler, akım taşıyan bir iletken tarafından üretilen manyetik alanı algılayarak akımı ölçen, yarı iletken fiziğine dayalı temassız sensörlerdir. Bu sensörler; hem AC hem de DC akımların ölçülmesine olanak tanımaları, galvanik izolasyon sağlamaları ve devreyi kesintiye uğratmadan ölçüm yapılmasına izin vermeleri nedeniyle güç elektroniği ve endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [8].

2.2. Sinyal İşleme

Sensörlerden elde edilen analog sinyaller, mikrodenetleyici tabanlı sistemler tarafından işlenmek üzere uygun şekilde şartlandırılmış ve dijitalleştirilmiştir. Hall-Etkili sensörlerin çıkışları tipik olarak düşük genlikli analog voltajlar ürettiğinden, bu sinyaller işlemsel yükselteçler (op-amp) kullanılarak Analog-Dijital Dönüştürücü (ADC) giriş aralığına uyacak şekilde ayarlanmıştır. Örnekleme hızı ve ADC çözünürlüğü,

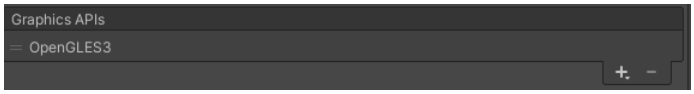
endüstriyel güç şebekesi frekansının ve potansiyel harmonik bileşenlerin doğru temsilini sağlayacak şekilde belirlenmiştir [10]. Dijitalleştirilen veriler daha sonra sensör karakteristikleri ve kalibrasyon katsayıları dikkate alınarak gerçek akım değerlerine dönüştürülmüş ve üst yazılım katmanına iletilmiştir.

2.3. Artırılmış Gerçeklik Katmanı

Elde edilen ölçüm verilerini kullanıcıya sezgisel bir şekilde sunmak için Artırılmış Gerçeklik (AR) tabanlı bir görselleştirme yaklaşımı benimsenmiştir. Sistem, işaretleyici tabanlı (marker-based) takip yöntemi aracılığıyla, pano üzerine yerleştirilmiş veya panonun fiziksel yapısını temsil eden önceden tanımlanmış bir referans görüntüyü kullanarak bileşenlerin konumunu ve yönelimini gerçek zamanlı olarak takip eder [11]. Bu yaklaşım, kameradan elde edilen görüntüdeki görsel işaretçinin geometrik verilerini referans alarak sanal içeriğin fiziksel pano bileşenleriyle hassas bir şekilde uzamsal olarak hizalanmasını ve yüksek görsel kararlılık elde edilmesini sağlar. Uygulamanın geliştirilmesinde, gerçek zamanlı grafik oluşturma ve AR entegrasyon yetenekleri nedeniyle Unity yazılım platformu kullanılmıştır [12]. Pano üzerindeki bileşenler sanal etiketlerle tanımlanmış; ölçülen akım değerleri ve temel teknik bilgiler bu etiketler aracılığıyla kullanıcıya sunulmuştur.

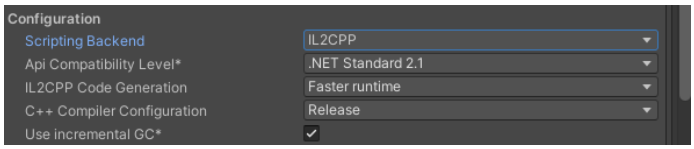
2.4 Artırılmış Gerçeklik Geliştirme Ortamı Tasarımı

Sistemin yazılım geliştirme sürecinde, yüksek grafik işleme kapasitesi ve sunduğu geniş kütüphane desteği nedeniyle Unity oyun motoru tercih edilmiştir [13]. Uygulamanın temelini oluşturan Artırılmış Gerçeklik (AR) yeteneklerini sisteme dahil etmek ve endüstriyel saha koşullarında yüksek kararlılıkla çalışmasını sağlamak amacıyla, gelişmiş görüntü işleme algoritmalarına sahip Vuforia Engine SDK platformu projeye entegre edilmiştir [14]. Vuforia'nın sunduğu gelişmiş 'Image Target' (Görüntü Hedefi) özellikleri, pano üzerindeki görsel detayların düşük ışık koşullarında dahi hassasiyetle tanımlanmasına olanak tanımıştır [15]. Projenin derleme ve performans optimizasyonu aşamalarında, hedef platform olarak Android işletim sistemi belirlenmiş ve donanım uyumluluğunu maksimize etmek adına Grafik API'si olarak OpenGLES3 seçilmiştir [16]. Ayrıca, uygulamanın çalışma zamanı (runtime) performansını artırmak ve sistem kaynaklarını daha verimli kullanmak amacıyla betik altyapısı (scripting backend) olarak IL2CPP yapılandırması tercih edilmiştir. Bu altyapı, C# kodlarını yüksek performanslı C++ kodlarına dönüştürerek, karmaşık hesaplamaların yapıldığı AR süreçlerinde işlemci üzerindeki yükün minimize edilmesini ve veri işleme hızının optimize edilmesini sağlamıştır [17]. Entegre edilen paketler ve uygulanan ayarlar Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 1. OpenGLES3 API ayarları

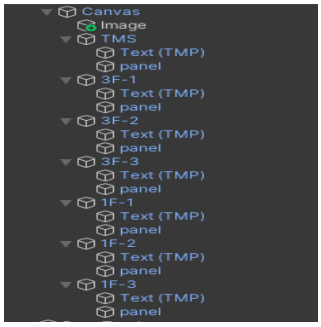
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil 2. IL2CPP ayarları

2.5. Etiketleme Ara Yüzü

Bileşenleri etiketlemek amacıyla "Dünya Uzayı" (World Space) modunda çalışan bir Canvas yapısı oluşturulmuştur. Her bir pano bileşeni (örneğin; üç fazlı devre kesici, tek fazlı anahtar) için ayrı bir etiket grubu tanımlanmıştır.



Şekil 3. Etiket Prefabları

2.6. Mobil Uygulama Derleme ve Test

Geliştirilen uygulama Android platformu için derlenmiş ve ARCore destekleyen mobil cihazlarda kapsamlı bir şekilde test edilmiştir. Testler sırasında uygulamanın pano görselini doğru bir şekilde algıladığı, etiketlerin pano üzerinde kararlı bir şekilde görüntülendiği ve kamera hareketlerine rağmen konum tutarlılığının korunduğu gözlemlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Önerilen temassız akım ölçümü ve AR destekli bakım asistanı yaklaşımının performansı, sayısal simülasyonlar aracılığıyla değerlendirilmiştir. Simülasyonlar üç ana kategoride yürütülmüştür: ölçüm zinciri doğrulaması, veri işleme doğruluğu ve kullanıcı etkileşimi için senaryo analizleri.

İlk aşamada, Hall-Etkili sensör tabanlı ölçüm zinciri modellenmiştir. Sonuçlar, sensör çıkışının akım ile doğrusal bir ilişki sergilediğini ve ölçüm zincirinin teorik olarak kararlı bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir.

İkinci aşamada, ADC çözünürlüğünün ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çizelge 1'de görüldüğü üzere, 12-bit ve üzeri çözünürlüğe sahip ADC yapılandırmalarında, kuantizasyon (nicemleme) hatasından kaynaklanan hata seviyesinin endüstriyel bakım uygulamaları için kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. Çözünürlük değişimine göre simülasyon verilerine dayalı teorik ölçüm hassasiyeti değerleri

ADC Resolution (bit)	**Digital level (2^n)**	**Voltages (mV)**	**Relative measurement error (%)**
8-bit	256	19.53	±1.20
10-bit	1024	4.88	±0.45
12-bit	4096	1.22	±0.15
14-bit	16384	0.31	±0.05
16-bit	65536	0.08	±0.02

Üçüncü aşamada, AR bileşeninin bakım sürecine katkısı senaryo tabanlı simülasyonlarla analiz edilmiştir. İşaretleyici tabanlı (marker-based) takip yönteminin kullanıldığı senaryolarda, önceden tanımlanmış yüksek kontrastlı referans görselleri sayesinde sanal etiketlerin uzamsal hizalamasının ve yerleşim kararlılığının oldukça yüksek olduğu saptanmıştır. Takip algoritmasının doğrudan fiziksel bir işaretçiyi referans alması, sanal verilerin pano bileşenleri üzerine hassas bir şekilde çakıştırılmasını sağlamıştır. Buna karşın, işaretleyicinin kamera görüş açısından çıktığı veya düşük ışık koşulları nedeniyle görsel özelliklerin ayırt edilemediği simülasyon senaryolarında, hizalama hatalarının arttığı ve takip kararlılığının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu bulgular, işaretleyici tabanlı sistemlerin endüstriyel ortamlarda sunduğu yüksek yerleşim doğruluğunu doğrulamakla birlikte, kesintisiz bir deneyim için işaretçi görünürlüğünün kritik bir parametre olduğunu ortaya koymuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar, temassız akım ölçümü ile AR destekli görselleştirmenin birleşiminin, bakım süreçlerinde bilgiye erişim süresini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Ölçüm sırasında iletkenle doğrudan temas gereksiniminin olmaması, özellikle enerjili panellerde iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik bir avantaj sunmaktadır. AR tabanlı bilgi sunumu, teknisyenlerin pano üzerindeki bileşenleri daha hızlı tanımlamasına ve bakım adımlarını daha sistematik bir şekilde takip etmesine katkıda bulunmuştur. Bu durum, deneyimsiz teknisyenlerin üzerindeki bilişsel yükü azaltmak açısından özellikle önemlidir.

Ancak, işaretçisiz (markerless) takip yöntemlerinin aydınlatma koşulları ve yüzey dokusu gibi çevresel faktörlere duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma, AR teknolojilerinin endüstriyel bakım süreçlerinde sadece görsel bir destek aracı olarak değil, aynı

zamanda karar verme süreçlerini destekleyen etkili bir dijital araç olarak kullanılabileceğini kanıtlamaktadır.

.

KAYNAKÇA

1. **Lee, J., Bagheri, B. ve Kao, H. A.**, A Cyber–Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems, Manufacturing Letters, 3, 18–23, 2015.
2. **IEC**, IEC 60204-1: Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machines, International Electrotechnical Commission, 2018.
3. **Collins, H.**, Tacit and Explicit Knowledge, University of Chicago Press, Chicago, 2010.
4. **Reason, J.**, Human Error: Models and Management, BMJ, 320, 768–770, 2000.
5. **Jardine, A. K. S., Lin, D. ve Banjevic, D.**, A Review on Machinery Diagnostics and Prognostics, Mechanical Systems and Signal Processing, 20, 1483–1510, 2006.
6. **Azuma, R. T.**, A Survey of Augmented Reality, Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6, 355–385, 1997.
7. **Hameyer, K. ve Belmans, R.**, Numerical Modelling and Design of Electrical Machines and Devices, Springer, 1999.
8. **Ripka, P.**, Current Sensors Using Magnetic Materials, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 6, 587–592, 2004.
9. **Ramsden, E.**, Hall-Effect Sensors: Theory and Application (2nd ed.), Elsevier, 2011.
10. **Oppenheim, A. V. ve Schafer, R. W.**, Discrete-Time Signal Processing (3rd ed.), Pearson, 2010.
11. **Welch, G. ve Bishop, G.**, An Introduction to the Kalman Filter, Technical Report TR 95-041, University of North Carolina at Chapel Hill, Chapel Hill, 2006.
12. **Unity Technologies**, Unity for Industrial Augmented Reality Applications, IEEE Computer Graphics and Applications, 42, 8–15, 2022.
13. **Garrido, D., Aires, J. P. ve Ferreira, J. C.**, An Evaluation of Game Engines for Industrial Augmented Reality Applications, Journal of Manufacturing Systems, 60, 10-22, 2021.
14. **Mourtzis, D., Zogopoulos, V. ve Vlachou, E.**, Augmented Reality Application to Support Remote Maintenance as a Service in the Context of Industry 4.0, Procedia CIRP, 63, 46-51, 2017.
15. **Gattullo, M., Scurati, G. W., Fiorentino, M., Uva, A. E., Ferrise, F. ve Bordegoni, M.**, Towards the Design of Industrial Augmented Reality Manuals: A Case Study, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 100, 1-13, 2019.
16. **Stojiljkovic, M. ve Milovanovic, M.**, Performance Analysis of Mobile Graphics APIs and Rendering Techniques in Augmented Reality, IEEE Access, 8, 120560-120572, 2020.
17. **Koo, B. W. ve Kim, J. H.**, Comparative Analysis of Execution Performance of Scripting Backends in Cross-Platform Mobile AR, International Journal of Interactive Mobile Technologies, 13, 154-167, 2019.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ÜNİVERSİTE KAMPÜSÜ BİNALARINDA ENERJİ TÜKETİMİ BAZLI CO_2 EMİSYON ANALİZİ

Öğr. Gör. Abdulkadır GÜNGÖR
Muş Alparslan Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü
a.gungor@alparslan.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-7048-6868

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
srustemli@beu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4957-1782

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
anur@beu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0006-5671-6923

ÖZET

Binalar, dünya genelinde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30–%40'ını ve sera gazı emisyonlarının ise %25'ini oluşturmaktadır. Eğitim kurumları, özellikle üniversite kampüsleri; akademik binalar, laboratuvarlar, idari birimler, lojmanlar, spor tesisleri ve sosyal alanlar gibi çok çeşitli işlevlere sahip yapılardan oluştuğu için yüksek enerji tüketen kompleks sistemlerdir. Bu nedenle üniversite kampüslerinin enerji performanslarının değerlendirilmesi karbon ayak izlerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yer alan binaların enerji tüketim değerleri ve buna bağlı CO_2 emisyonları analiz edilmiştir. Binaların mimari ve mekanik özellikleri toplanmış ve ulusal enerji performans yazılımı olan BEP-TR kullanılarak her bir bina için yıllık enerji tüketimleri ve sera gazı salınımları hesaplanmıştır. BEP-TR programı ile binaların ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma sistemleri üzerinden yıllık CO_2 emisyonlarını hesaplanmış ve sonuçlar referans bina ile karşılaştırılarak sınıflandırılmıştır. Böylece tüm binaların sera gazı performans sınıfları elde edilmiştir. Sonuçlar yıllık emisyon miktarlarının enerji tüketimi ile doğrusal ilişki gösterdiği ve özellikle ısıtma yükü yüksek olan binalarda CO_2 salımlarının belirgin seviyede arttığı görülmüştür. Çalışma, kampüs tipi büyük ölçekli yapılarda enerji yönetimi ve karbon ayak izi azaltımı açısından önemli bulgular sunmaktadır. Genel olarak çalışma, kampüs ölçeğinde enerji performansının çok boyutlu olarak analiz edilmesiyle, sürdürülebilir enerji yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Enerji yönetim, CO_2 emisyonu, BEP-TR programı

ENERGY CONSUMPTION-BASED CO_2 EMISSIONS ANALYSIS IN UNIVERSITY CAMPUS BUILDINGS

ABSTRACT

Buildings account for approximately %30–%40 of total global energy consumption and %25 of greenhouse gas emissions. Educational institutions, particularly university campuses, are complex systems with high energy consumption because they consist of buildings with a wide variety of functions, such as academic buildings, laboratories, administrative units, dormitories, sports facilities, and social areas. Therefore, evaluating the energy performance of university campuses and reducing their carbon footprint is of great importance.

In this study, the energy consumption values and associated CO_2 emissions of buildings located on the campus of Muş Alparslan University were analyzed. The architectural and mechanical characteristics of the buildings were collected, and annual energy consumption and greenhouse gas emissions for each building were calculated using the national energy performance software BEP-TR. The annual CO_2 emissions of buildings were calculated using the BEP-TR program based on their heating, cooling, ventilation, hot water, and lighting systems, and the results were classified by comparing them with a reference building. Thus, the greenhouse gas performance classes of all buildings were obtained. The results showed that annual emission amounts were linearly related to energy consumption and that CO_2 emissions increased significantly, especially in buildings with high heating loads. The study presents important findings in terms of energy management and carbon footprint reduction in large-scale campus-type buildings. Overall, the study contributes to the development of sustainable energy management strategies by analyzing energy performance at the campus scale in a multidimensional manner.

Keywords: Energy management, CO_2 emissions, BEP-TR program

1. GİRİŞ

Enerji, modern toplumların ekonomik gelişmişliğini, yaşam kalitesini ve teknolojik ilerleme düzeyini belirleyen kritik bir unsurdur. Günümüzde dünya nüfusunun artması, kentleşme süreçlerinin hızlanması, toplumsal refah seviyesindeki yükselme ve dijitalleşmenin yaygınlaşması enerji talebini her zamankinden daha fazla artırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), küresel enerji talebinin 2040 yılına kadar %25 oranında artacağını öngörmektedir. Bu artışın en önemli sonucu, enerji tüketimine bağlı sera gazı emisyonlarının, özellikle de karbondioksit (CO_2) salınımlarının hızla yükselmesidir. CO_2, tüm sera gazlarının

yaklaşık %76'sını oluşturarak küresel iklim değişikliğinin temel belirleyicisi konumundadır [1].

Binalar, dünya genelinde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %30–40'ını, sera gazı emisyonlarının ise %25'ini oluşturmaktadır. Eğitim kurumları, özellikle üniversite kampüsleri; akademik binalar, laboratuvarlar, idari birimler, lojmanlar, spor tesisleri ve sosyal alanlar gibi çok çeşitli işlevlere sahip yapılardan oluştuğu için yüksek enerji tüketen kompleks sistemlerdir [2]. Bu nedenle üniversite kampüslerinin enerji performanslarının değerlendirilmesi, tüketim davranışlarının modellenmesi ve karbon ayak izlerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Türkiye'de binaların enerji performansını düzenleyen BEP-TR (Binalarda Enerji Performansı) yazılımı, yapısal özellikleri, mekanik sistemleri, iklim bölgelerini ve kullanım senaryolarını dikkate alarak yıllık enerji tüketimini hesaplayan ulusal bir modeldir [3]. Ancak kampüsler, farklı bina tiplerinin aynı yerleşke içinde eş zamanlı çalıştığı karmaşık sistemler olduğundan, gerçek enerji tüketimi ile teorik modeller arasında önemli farklılıklar ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada, Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yer alan binaların yıllık enerji tüketimleri ve CO_2 emisyonları hem BEP-TR teorik model çıktıları hem de 2016–2019 yıllarına ait gerçek tüketim verileri kullanılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu yönüyle çalışma, üniversite yerleşkelerinde enerji yönetimi, karbon azaltım stratejileri ve performans değerlendirme modelleri açısından ulusal literatüre özgün bir katkı sunmaktadır.

2. ENERJİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ VE SERA GAZI EMİSYONLARI

Enerji üretimi ve tüketimi, modern toplumların ekonomik gelişiminin temel unsurlarından biri olmakla birlikte, çevre üzerinde ciddi ve uzun vadeli etkiler oluşturmaktadır. Özellikle fosil yakıtlara dayalı enerji sistemleri, atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarını artırarak küresel iklim değişikliğinin temel sebepleri arasında yer almaktadır. Enerji arzında petrol, kömür ve doğal gazın yüksek oranlarda kullanılması, başta karbondioksit (CO_2) olmak üzere metan (CH_4) ve azot oksitler (NO_x) gibi sera gazlarının atmosferde birikmesine yol açmaktadır. Bu gazların ısınma etkisi, Dünya yüzeyinin normalden daha fazla enerji tutmasına neden olmakta ve küresel sıcaklık artışını tetiklemektedir [4, 5]. Sera gazlarının küresel ölçekte artış hızına bakıldığında, enerji sektörünün toplam emisyonların yaklaşık %41'ini oluşturduğu görülmektedir. Kalan emisyonlar sanayi (%24), ulaşım (%24), binalar (%8) ve diğer sektörlerden kaynaklanmaktadır. Bu durum, enerji tüketiminin iklim sistemi üzerindeki belirleyici etkisini açıkça göstermektedir [6].

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2.1. CO_2 Emisyonları ve Enerji Türlerinin Etkisi

Enerji üretim teknolojileri arasında sera gazı emisyonu açısından büyük farklılıklar bulunmaktadır. Fosil yakıtların oluşturduğu emisyonlar şu şekildedir [7-9]:

- Kömür: En yüksek CO_2 salımı yapan enerji kaynağıdır. Termik santrallerde kullanılan taşkömürü ve linyit türleri, 1 GWh enerji başına sırasıyla yaklaşık 888–1054 ton CO_2 emisyonuna yol açmaktadır. Bunun nedeni karbon içeriğinin yüksek olması ve yanma verimliliklerinin düşük olmasıdır.
- Fuel-oil: Orta düzeyde emisyona sahiptir ve 1 GWh enerji üretiminde yaklaşık 733 ton CO_2 oluşturur.
- Doğalgaz: Fosil yakıtlar arasında en düşük CO_2 salımı yapan kaynak olup 1 GWh enerji karşılığında yaklaşık 499 ton CO_2 oluşturmaktadır.
- Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Rüzgâr, güneş, jeotermal ve hidroelektrik enerji sistemleri, yaşam döngüsü boyunca çok düşük seviyelerde sera gazı üretir. Örneğin, rüzgâr türbinleri 1 GWh başına yaklaşık 10 ton CO_2 eşdeğeri emisyon oluştururken, güneş enerjisi yaklaşık 23 ton CO_2 eşdeğeri bir etkiye sahiptir.

2.2. Binaların Sera Gazı Üzerindeki Etkisi

Binalar, enerji tüketimleri nedeniyle hem elektrik üretiminden kaynaklanan dolaylı CO_2 salımlarına hem de ısınma için kullanılan doğalgaz veya diğer yakıt türlerinin yanmasıyla oluşan doğrudan emisyonlara sahiptir. Binalarda CO_2 salımının başlıca kaynakları[10-12]:

- Isıtma sistemleri (doğalgaz, fuel-oil, kömür)
- Elektrikli cihazlar ve aydınlatma
- Havalandırma ve iklimlendirme ekipmanları
- Sıcak su tüketimi
- Bilgi işlem ve laboratuvar cihazları

Bu nedenle bina ölçeğinde enerji performansı çalışmaları, yalnızca enerji tüketimi açısından değil, CO_2 emisyonlarının azaltılması ve çevreye olan etkinin minimize edilmesi açısından da büyük önem taşır.

2.3. Kampüs Binalarında Çevresel Etkiler

Üniversite kampüsleri geniş kapalı alanlara sahip olduklarından, hem ısıtma hem aydınlatma hem de elektrikli cihaz kullanımından kaynaklı önemli miktarda enerji tüketirler. Bu nedenle kampüsler:

- Yüksek elektrik tüketimi sebebiyle dolaylı CO_2 salımı,
- Kış aylarında aşırı ısıtma yükü sebebiyle doğrudan CO_2 salımı,
- Yoğun kullanıcı trafiği sebebiyle havalandırma ihtiyaçlarının artması,
- Laboratuvar cihazlarının kesintisiz çalışması nedeniyle yüksek enerji yoğunluğu

gibi çevresel etkiler üretir. Özellikle sert karasal iklime sahip bölgelerde, kış aylarında doğalgaz tüketiminin artması, kampüsün toplam karbon ayak izini ciddi şekilde yükseltmektedir. Bu nedenle binaların yalıtım seviyeleri, mekanik sistem verimleri ve işletme stratejileri, çevresel performansı belirleyen temel unsurlar hâline gelir [13, 14].

3. BEP-TR PROGRAMI VE UYGULAMA

"Türkiye için Bina Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemi (BEP-TR)", Bayındırlık ve İskan Bakanlığı eşgüdümünde, enerji tüketimine etki eden parametrelerin binaların enerji verimliliğine etkisini değerlendirmek ve enerji performans sınıfını belirlemek için geliştirilmiştir. Hesaplama yönteminin, konutlar, ofisler, eğitim binaları, sağlık binaları, oteller ile alışveriş ve ticaret merkezleri gibi bina tipolojilerindeki ve yeni binaların enerji performansını değerlendirmek ve enerji kimlik belgesi (EKB) vermek üzere kullanılması hedeflenmiştir. Bu hesaplama yöntemi, bina enerji performansını değerlendirirken;

- Binaların ısıtılması ve soğutulması için binanın ihtiyacı olan net enerji miktarının hesaplanmasını,
- Net enerjiyi karşılayacak kurulu sistemlerden olan kayıpları ve sistem verimlerini de göz önüne alarak binanın toplam ısıtma-soğutma enerji tüketiminin belirlenmesini,
- Havalandırma enerjisi tüketiminin belirlenmesini,

- Binalarda günışığı etkileri göz önüne alınarak, günışığından yararlanılmayan süre ve günışığının etkili olmadığı alanlar için aydınlatma enerji ihtiyacının ve tüketiminin hesaplanmasını,
- Sıhhi sıcak su için gerekli enerji tüketiminin hesaplanmasını kapsamaktadır [15, 16].

Referans bina, enerji performansı belirlenecek bina (asli bina) ile aynı yerde, aynı mimariye sahip, mekanik sistemler ve bina kabuğunun termofiziksel yönleri açısından bina yönetmeliklerine asgari şartları sağlayacak şekilde dizayn edilen hayali bir binadır.

Referans bina, programa tanımlanan mevcut binanın verilerini kullanarak sistem tarafından otomatik olarak yapılır. Her iki bina için de hesaplama yapılarak hem mevcut bina için hem de referans bina için tüketim ve salınım değerlerini hesaplar. Binanın enerji performansı, gerçek binanın yıllık m2 başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m2 başına düşen enerji tüketim miktarı ile kıyaslanmasıyla hesaplanır; Referans bina ile aynı değerlere sahip bir binanın Ep değeri 100 dür. D sınıfının üst sınırına yerleşmektedir.

Binanın enerji performansı, denklem (1)'deki eşitlikte görülen gerçek binanın yıllık m2 başına düşen enerji tüketim miktarının, referans binanın yıllık m2 başına düşen enerji tüketim miktarı ile kıyaslanmasıyla hesaplanır. Çizelge 1'de enerji performans değerlerine göre sınıflandırmayı göstermektedir.

$$E_{P,EP}=100*\left(1-\frac{EP_r-EP_g}{EP_r}\right) \quad (1)$$

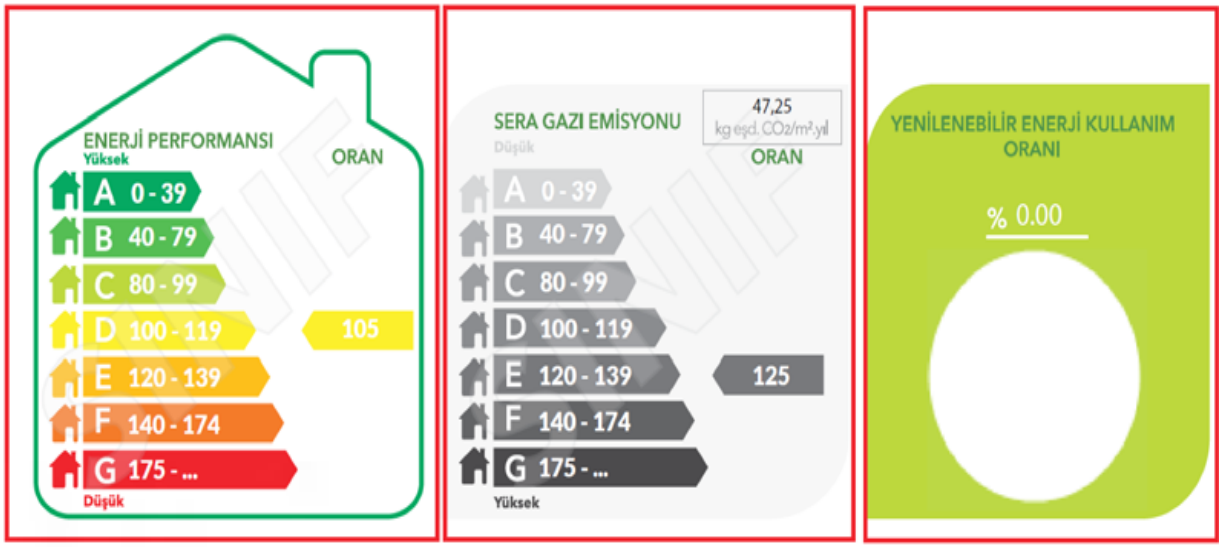
Çizelge 1. BEP-TR'de enerji performans göstergesi aralığı

Enerji Sınıfı	Ep aralıkları
A	0-39
B	40-79
C	80-99
D	100-119
E	120-139
F	140-174
G	175-…

Sınıflandırma, enerji tüketimi için ve CO2 salımı için ayrıdır, iki sınıflandırma için de aynı çizelge kullanılır. Görsel 1'de BEP-TR programının referans binaya göre oranı gösterilmiştir.

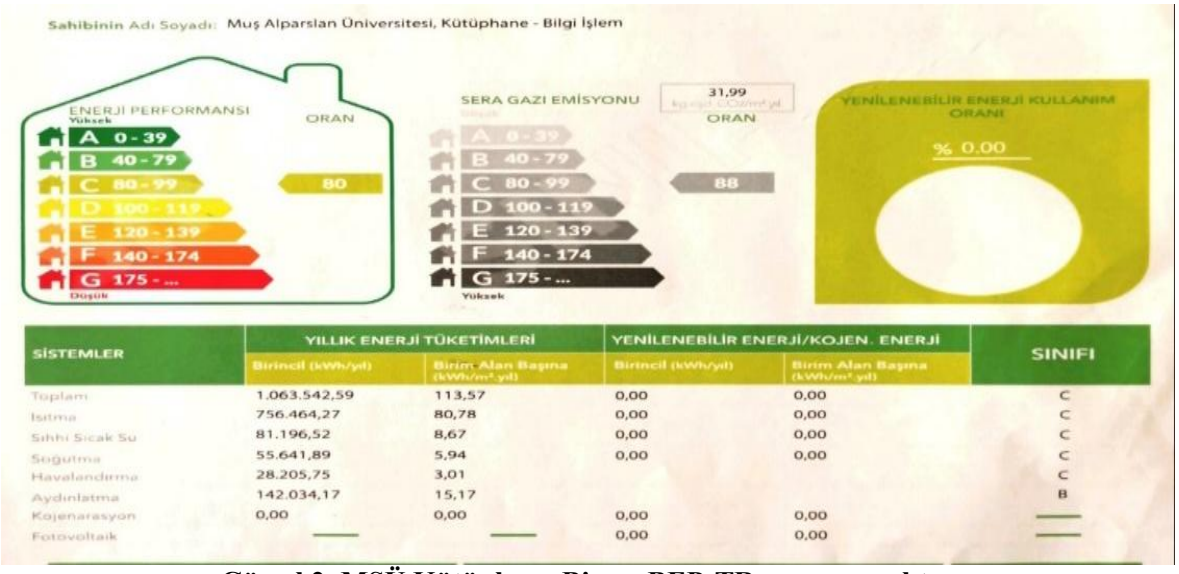
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Binanın, referans binaya göre enerji performans sınıfı ve oranı yer almaktadır	Binanın, referans binaya göre sera gazı emisyon sınıfı ve oranı yer almaktadır.	Binada kullanılan ısı pompası, fotovoltaik, güneş enerjisi destek sistemleri gibi yenilenebilir sistemlerin kullanım oranı yer



Görsel 1. BEP-TR programının referans binaya göre oranı

Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde bulunan toplam 30 binadan farklı olan 18 adet binanın BEP-TR yazılım programında bina mimari ve mekanik sistemlerin veri girişleri yapıldıktan sonra program çıktıları alınmıştır. Görsel 2'de MŞÜ Kütüphane binası BEP-TR program çıktısı gösterilmiştir.



SİSTEMLER	YILLIK ENERJİ TÜKETİMLERİ		YENİLENEBİLİR ENERJİ/KOJEN. ENERJİ		SINIFI
	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m².yıl)	Birincil (kWh/yıl)	Birim Alan Başına (kWh/m².yıl)	
Toplam	1.063.542,59	113,57	0,00	0,00	C
Isıtma	756.464,27	80,78	0,00	0,00	C
Sıhhi Sıcak Su	81.196,52	8,67	0,00	0,00	C
Soğutma	55.641,89	5,94	0,00	0,00	C
Havalandırma	28.205,75	3,01			C
Aydınlatma	142.034,17	15,17			B
Kojenarasyon	0,00	0,00	0,00	0,00	—
Fotovoltaik	—	—	0,00	0,00	—

Görsel 2. MŞÜ Kütüphane Binası BEP-TR program çıktısı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BEP-TR programında binanın toplam enerji tüketimini elektrik enerjisi olarak hesaplanmaktadır. Ancak enerji tüketim verilerinin hem teorik hem de gerçek sonuçlarının karşılaştırılması yapılması için enerji tüketimlerini ortak bir birime çevirmek gerekir. Genelde enerji birimlerinin karşılaştırılması TEP cinsinden yapılmaktadır. Denklem 2'de enerji birimlerinin TEP'e çevrilmesi gösterilmiştir.

$$\text{TEP} = \text{tüketim miktarı (verilen birimde)} \times \text{ısıl}\frac{\text{değer}}{10000000}\text{kcal kg} \qquad (2)$$

Kampüsümüzde bulunan toplam 30 binaya ait BEP-TR programının çıktılarının elektrik ve TEP cinsinden dönüşümü ile beraber referans binaya göre performans sınıfı, sera gazı oranı, ve emisyonu çizelge 2'de gösterilmiştir.

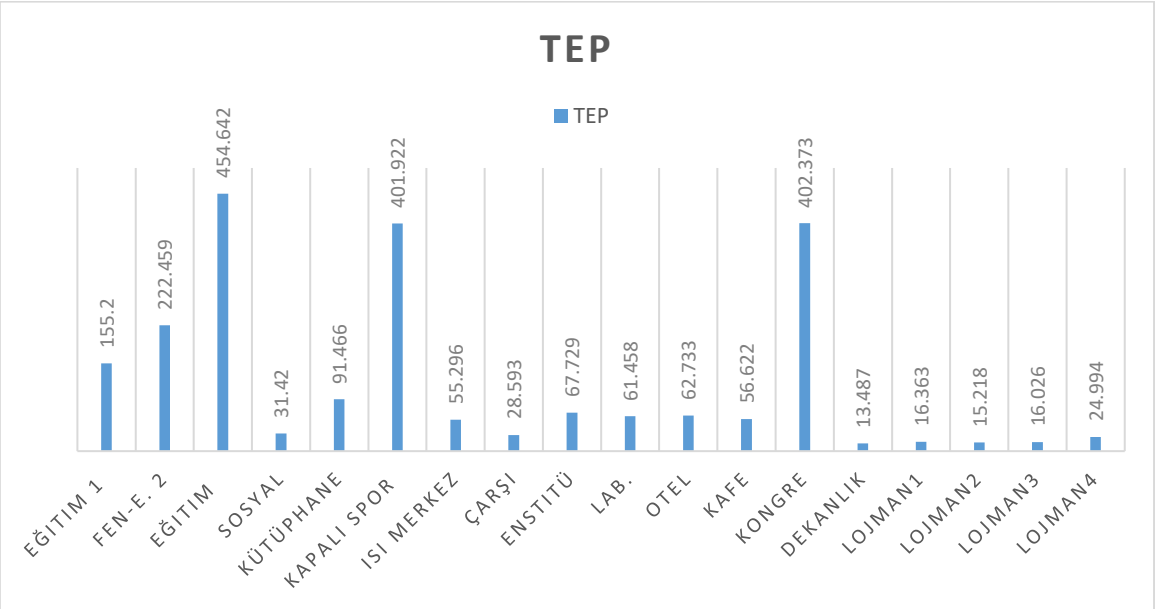
Çizelge 2. BEP-TR kampüs bina çıktıları

Bina Adı	Elektrik Tüketim	Dönüşüm Katsayısı	Tep	Performans sınıfı	Sera gazı oranı	Sera gazı emisyonu
Eğitim 1	1804623,777	0,00008600130507	155,2	C (81)	C (91)	65,11
Fen-E. 2	2586693,304	0,00008600130507	222,459	C (82)	C (94)	45,83
Eğitim 2-3	5286454,661	0,00008600130507	454,642	C (82)	C (94)	92,05
Sosyal	365343,293	0,00008600130507	31,42	C (81)	C (95)	40,94
Kütüphane	1063542	0,00008600130507	91,466	C (80)	C (88)	31,99
Kapalı Spor	4673440,707	0,00008600130507	401,922	C (86)	C (85)	129,53
Isı Merkez	642966,987	0,00008600130507	55,296	C (85)	C (95)	108,14
Çarşı	332471,6989	0,00008600130507	28,593	C (84)	C (97)	45,17
Enstitü	787534,5606	0,00008600130507	67,729	C (84)	C (97)	70,32
Lab.	714617,0625	0,00008600130507	61,458	C (81)	C (92)	96,99
Otel	729442,4189	0,00008600130507	62,733	C (80)	C (93)	48,88
Kafe	658385,3577	0,00008600130507	56,622	C (80)	C (90)	29,81
Kongre	4678684,814	0,00008600130507	402,373	C (83)	C (95)	183,58
Dekanlık	156823,2016	0,00008600130507	13,487	C (84)	C (97)	55,95
Lojman1	190264,5546	0,00008600130507	16,363	C (81)	C (95)	61,19
Lojman2 (2)	176950,8031	0,00008600130507	15,218	C (83)	C (97)	63,38
Lojman3 (7)	186346,0094	0,00008600130507	16,026	C (81)	C (95)	59,94
Lojman4 (6)	290623,4967	0,00008600130507	24,994	C (85)	C (99)	93,39

Program sonuçlarına göre tüm binalarımızın referans binaya göre performans sınıfı C (80-99) olarak çıkmıştır. Aynı zamanda sera gazı emisyonu C (80-99) olarak çıkmıştır. Toplam elektrik enerjisi bina enerji tüketim toplamları elektrik enerjisi türünden 28079000 kWh olarak

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

hesaplanmıştır. Bu da 2414,345 TEP etmektedir. Ayrıca binalarımızın TEP cinsinden tüketim grafiği görsel 3'de gösterilmiştir.



Görsel 3. Binaların yıllık enerji tüketimi (TEP) BEP-TR çıktısı

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yer alan farklı işlevlere sahip binaların enerji tüketimleri ve buna bağlı CO_2 emisyonları, ulusal enerji performans yazılımı BEP-TR kullanılarak analiz edilmiştir. Kampüs genelinde 18 farklı bina için yıllık enerji tüketimleri hesaplanmış, sonuçlar referans bina ile karşılaştırılarak enerji ve sera gazı performans sınıfları belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, kampüs binalarının tamamının enerji ve CO_2 emisyon performans sınıfının C (80–99) aralığında yer aldığını göstermektedir. Yıllık toplam enerji tüketimi yaklaşık 28 GWh olarak hesaplanmış ve bu değer 2414 TEP'e karşılık gelmiştir. Analizler, enerji tüketimi ile CO_2 emisyonları arasında güçlü ve doğrusal bir ilişki bulunduğunu, özellikle ısıtma yükü yüksek olan binaların toplam emisyonlar üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmanın benzer iklim koşullarına sahip diğer üniversite kampüsleri için de referans niteliğinde olduğu ve gelecekte yapılacak enerji yönetimi, karbon azaltım ve sürdürülebilirlik çalışmalarına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

1. Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ. *Dünyada ve Türkiye'de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi*, Mühendis ve Makina Dergisi, 59(692): 86–114, 2018.

2. Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., Tandıroğlu, A. *Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat*, Energy, 111: 923–932, 2016.

3. Güngör, A., Güngör, S. *İklimlendirme sistemlerinde enerji yönetimi*, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 23–26 Kasım, s. 819–848, 2005.

4. Ener Ruşen, S., Topçu, M. A., Karanfil Celep, G., Çeltek, S. A., Rüşen, A. *Üniversite kampüs binaları için enerji etüdü: Örnek çalışma*, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(2): 83–92, 2018.

5. Uzun, A., Değirmen, M. *Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliği ve enerji yönetimi*, Uluslararası Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 4(2): 83–97, 2018.

6. Yaşar, C., Aslan, Y., Biçer, T. *Bir dağıtım transformatörü bölgesindeki kayıpların incelenmesi*, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1(022): 9–22, 2010.

7. Çevre ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. *İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik*, 5. Madde, 2013.

8. Çevre ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. *İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik*, 15. Madde, 2013.

9. Ruşen, S. E., Mücahid, K. *Enerji tüketim ve CO_2 salınım değerlerinin analizi; bir gıda fabrikası örneği*, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(4): 1478–1488, 2019.

10. Kıyılmaz, M. B. *Sanayide enerji yönetimi esasları ve enerji verimliliğinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, 2019.

11. Noranai, Z., Kammalluden, M. N. *Study of building energy index in Universiti Tun Hussein Onn Malaysia*, Academic Journal of Science, 1(2): 429–433, 2012.

12. Ekmekçi, İ., Şadoğlu, N., Tetik, İ., Ermiş, K. *Bir üniversite binası için enerji etüdü ve verimliliği arttırıcı proje (VAP) çalışması*, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 8–11 Nisan, s. 1–12, 2015.

13. Bashar, M. A. A. *Binalarda enerji yönetimi ve iklimlendirme örnek çalışma: Musul Üniversitesi sanat fakültesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, 2019.

14. Öztürk, Ö. A. *Hastanelerde enerji yönetiminin modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2019.

15. Türkiye Cumhuriyeti. *Enerji Verimliliği Kanunu*, 2007.

16. Türkiye Cumhuriyeti. *Binalarda enerji performansı ulusal hesaplama yöntemine dair tebliğ (Tebliğ No: MHG/2017-26) ekler*, 2017.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MUŞ ALPARSLAN ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜNDEKİ BİNALARIN ENERJİ PERFORMANSININ ANALİZİ

Öğr. Gör. Abdulkadır GÜNGÖR
Muş Alparslan Üniversitesi, Elektrik ve Enerji Bölümü
a.gungor@alparslan.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-7048-6868

Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
srustemli@beu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-4957-1782

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet NUR
Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
anur@beu.edu.tr - https://orcid.org/0009-0006-5671-6923

ÖZET

Binalarda enerji performansı; yapı kabuğunun ısı iletkenlik özellikleri, mekanik sistemlerin verimliliği, kontrol stratejileri, kullanıcı alışkanlıkları, iklimsel parametreler ve binanın kullanım amaçları gibi çok sayıda faktörün birleşimiyle belirlenir. Enerji performansının doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için bu parametrelerin bütünsel bir modelleme yaklaşımıyla analiz edilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaç doğrultusunda Türkiye'de "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yayımlanmış ve yeni yapılacak binalar için minimum enerji performansı gereklilikleri tanımlanmıştır. Aynı yönetmelik kapsamında binalara Enerji Kimlik Belgesi verilmesi zorunlu kılınmış; böylece binaların enerji sınıfları objektif kriterlere göre belirlenebilir hâle gelmiştir.

Yapılan bu çalışmada, Muş Alparslan Üniversitesi yerleşkesinde bulunan farklı bina tiplerinin yıllık enerji tüketim performansı incelenmiştir. Çalışmada hem teorik hem de gerçek enerji tüketim değerlerinden yararlanılarak kampüse ait bütünsel bir enerji yönetimi yaklaşımı ortaya konulmuştur. Teorik enerji performansının belirlenmesinde Türkiye'nin ulusal bina enerji analizi yazılımı olan BEP-TR programı kullanılmıştır. Elde edilen teorik tüketim değerleri, 2016 – 2019 yılları arasındaki elektrik ve yakıt faturalarından elde edilen gerçek tüketim verileri ile karşılaştırılmış ve analiz sonuçları yıllara göre değişim eğilimleri bakımından değerlendirilmiştir. BEP-TR sonuçları ile gerçek tüketim verileri karşılaştırıldığında, bazı yıllarda teorik tüketim değerlerinin gerçek tüketimlere göre daha düşük kaldığı, bunun ise

kullanıcı davranışları, cihaz verimleri, kontrol stratejileri ve işletme saatleri gibi değişkenlerle ilişkili olduğu görülmüştür. Ayrıca kampüs binalarının enerji tüketimleri personel sayısı, kapalı alan büyüklüğü, kullanım yoğunluğu ve iklimsel veriler ile ilişkilendirilerek ayrıntılı biçimde karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, üniversite yerleşkelerindeki binaların enerji tüketim karakteristiklerinin doğru modellenmesine ve enerji verimliliğini artıracak uygulamaların planlanmasına katkılar sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kampüs binaları, Enerji performansı, BEP-TR programı

ANALYSIS OF ENERGY PERFORMANCE OF BUILDINGS AT MUŞ ALPARSLAN UNIVERSITY CAMPUS

ABSTRACT

Energy performance in buildings is determined by a combination of numerous factors, including the thermal conductivity properties of the building envelope, the efficiency of mechanical systems, control strategies, user habits, climatic parameters, and the intended use of the building. To accurately assess energy performance, these parameters must be analyzed using a holistic modeling approach. In line with this need, the “Building Energy Performance Regulation” has been published in Türkiye, defining minimum energy performance requirements for new buildings. Under the same regulation, it has become mandatory to issue Energy Performance Certificates for buildings, thus enabling the energy classes of buildings to be determined according to objective criteria.

This study examined the annual energy consumption performance of different building types located on the campus of Muş Alparslan University. Using both theoretical and actual energy consumption values, the study presented a holistic energy management approach for the campus. The BEP-TR program, Turkey's national building energy analysis software, was used to determine theoretical energy performance. The theoretical consumption values obtained were compared with actual consumption data obtained from electricity and fuel bills between 2016 - 2019, and the analysis results were evaluated in terms of trends in change over the years. When comparing BEP-TR results with actual consumption data, it was observed that in some years, theoretical consumption values were lower than actual consumption, which was related to variables such as user behavior, device efficiency, control strategies, and operating hours. Furthermore, the energy consumption of campus buildings was compared in detail in relation to the number of staff, enclosed area size, usage intensity, and climatic data. The findings

contribute to accurately modeling the energy consumption characteristics of buildings on university campuses and planning applications that will increase energy efficiency.

Keywords: Campus buildings, Energy performance, BEP-TR program

1. GİRİŞ

Binalar, ülkelerin toplam enerji tüketimi içinde büyük bir paya sahiptir ve özellikle gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde enerji verimliliği politikalarının temel odak noktalarından birini oluşturur. Avrupa Birliği ülkelerinde toplam enerji tüketiminin yaklaşık %40'ı, Türkiye'de ise %30'dan fazlası bina sektöründen kaynaklanmaktadır. Binalarda tüketilen enerji; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma, sıcak su temini ve elektrikli cihazların kullanımından oluşan geniş bir bileşenler grubunu içerir. Bu nedenle binaların enerji performansının analiz edilmesi, hem ulusal enerji politikalarının hem de sürdürülebilirlik stratejilerinin vazgeçilmez bir ayağıdır [1].

Binalarda enerji performansı; yapı kabuğunun ısı iletkenlik özellikleri, mekanik sistemlerin verimliliği, kontrol stratejileri, kullanıcı alışkanlıkları, iklimsel parametreler ve binanın kullanım amaçları gibi çok sayıda faktörün birleşimiyle belirlenir. Enerji performansının doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için bu parametrelerin bütünsel bir modelleme yaklaşımıyla analiz edilmesi gerekmektedir. Bu ihtiyaç doğrultusunda Türkiye'de "Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği" yayımlanmış ve yeni yapılacak binalar için minimum enerji performansı gereklilikleri tanımlanmıştır. Aynı yönetmelik kapsamında binalara Enerji Kimlik Belgesi (EKB) verilmesi zorunlu kılınmış; böylece binaların enerji sınıfları objektif kriterlere göre belirlenebilir hâle gelmiştir. Bu bağlamda BEP-TR (Binalarda Enerji Performansı – Türkiye) yazılımı, ulusal mevzuata uygun biçimde binaların enerji performansını değerlendirmek üzere geliştirilmiş temel araçtır. BEP-TR, Avrupa Birliği'nin bina enerji performans çerçevesine uygun olarak tasarlanmış, Türkiye'nin iklimsel özelliklerini, standartlarını, yapı tipolojilerini ve referans bina parametrelerini temel alan kapsamlı bir hesaplama aracıdır. Program; binanın mimari verileri, mekanik sistem özellikleri, kullanım profilleri, iklim verileri ve ekipman verimliliklerini kullanarak bir binanın yıllık enerji ihtiyacını modellemekte ve enerji sınıfını belirlemektedir [2-4].

BEP-TR'nin hesaplama yaklaşımı "net enerji ihtiyacı → birincil enerji tüketimi → CO_2 emisyonu → enerji sınıfı" şeklinde ilerler. İlk aşamada binanın ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su ve aydınlatma gereksinimleri hesaplanır. Net enerji ihtiyacı belirlenirken yapı

bileşenlerinin U değerleri, ısı kazançları, iç kazançlar, güneş enerjisi kazançları ve iklim verileri dikkate alınır. Bu açıdan BEP-TR'nin temel hesaplama yöntemleri, TS 825 "Binalarda Isı Yalıtım Kuralları" standardı ile uyumludur. Programın kullandığı algoritma, binanın dinamik ısı kayıplarını ve kazançlarını temsil eden RC (direnç-kapasite) modelini esas alır [5].Bu modelde binanın ısı kaybı, ısı depolama kapasitesi ve ısı kazançları zaman serileri üzerinden işlenerek aylık veya yıllık enerji ihtiyaçları belirlenir.

Hesaplanan net enerji ihtiyacı, binada kullanılan sistemlerin verimlilikleri dikkate alınarak kaynak bazında birincil enerji tüketimine dönüştürülür. Bu aşamada kullanılan enerji türünün (doğalgaz, elektrik, fuel-oil vb.) birincil enerji katsayısı çarpan olarak uygulanır. Ardından birincil enerji tüketim miktarı kullanılarak yıllık CO_2 emisyonu hesaplanır; bu hesaplamada her bir enerji kaynağı için tanımlanmış olan kg CO_2/kWh dönüşüm katsayıları kullanılmaktadır. Son aşamada bina, program tarafından oluşturulan referans bina ile karşılaştırılır [6].Referans bina yaklaşımı, Avrupa'daki enerji performansı değerlendirme sistemleriyle uyumlu olup, binanın aynı fonksiyon, aynı kullanım amacı ve aynı iklim bölgesindeki standart bir örnek bina ile kıyaslanmasını sağlar. BEP-TR, referans binaya göre daha az enerji tüketen yapıları daha yüksek bir enerji sınıfına (A, B, C…), daha fazla tüketenleri ise daha düşük bir sınıfa yerleştirir. Böylece binalar arası nesnel karşılaştırma mümkün olur [7].

BEP-TR, özellikle üniversite kampüsleri gibi çok sayıda binanın bulunduğu kompleks yapılarda enerji performansı analizleri için kritik bir avantaj sağlar. Çünkü kampüs binaları çoğunlukla farklı kullanım profillerine, farklı mekanik sistemlere ve farklı yapı kabuğu özelliklerine sahiptir [8]. Bu çeşitlilik, enerji yönetimi çalışmalarında bütünsel ve standardize edilmiş bir hesaplama yaklaşımını zorunlu kılar. BEP-TR bu ihtiyacı karşılayarak binaların enerji tüketim modellemelerini karşılaştırılabilir hâle getirir.

Bu çalışma kapsamında Muş Alparslan Üniversitesi kampüsündeki 30 farklı bina için BEP-TR üzerinden teorik yıllık enerji tüketimleri hesaplanmış, program çıktıları tablolar hâlinde sınıflandırılmış ve bu değerler kampüsün 2016–2019 yılları arasındaki gerçek enerji tüketim verileri ile karşılaştırılmıştır. Böylece BEP-TR'nin kampüs ölçeğinde enerji yönetimi açısından sağladığı katkılar ortaya konulmuştur.

2. KAMPÜSLERDE ENERJİ TÜKETİMİ VE YÖNETİM GEREKSİNİMİ

Üniversite kampüsleri; akademik birimler, idari yapılar, laboratuvarlar, kütüphaneler, spor tesisleri, yemekhaneler, yurtlar, konferans salonları ve çok amaçlı kullanım alanları ile küçük bir şehir ölçeğine sahip yapılardır. Bu nedenle enerji tüketim yapıları da oldukça karmaşık olup, 7 gün 24 saat aktif çalışan teknolojik altyapılar, yoğun kullanıcı sirkülasyonu

ve yüksek konfor beklentileri nedeniyle diğer kamu binalarına göre daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptirler [9]. Gerek elektrik enerjisi gerekse ısınma yakıtları açısından kampüslerin toplam enerji tüketimi ülkelerin kamu enerji giderleri içinde önemli bir pay oluşturmaktadır. Bir üniversite kampüsünde enerji tüketimini belirleyen temel unsurlar şunlardır [10-12]:

- Binaların fiziksel özellikleri: Yapı kabuğunun U değerleri, pencere-doğrama özellikleri, yalıtım malzemeleri, çatı ve döşeme ısı kayıpları binaların ısıtma ve soğutma yüklerini doğrudan etkiler.
- Mekanik sistemlerin verimliliği: Isıtma kazanı verimleri, VRF sistemleri, split klimalar, pompalar, fanlar, havalandırma üniteleri ve sıcak su üretim sistemleri enerji tüketiminde kritik rol oynar.
- Kullanım profili: Dersliklerin, laboratuvarların, idari ofislerin ve sosyal alanların kullanım süreleri, kullanıcı yoğunluğu ve konfor beklentileri tüketim eğrisini şekillendirir.
- İklimsel koşullar**:** Özellikle serin-kuru iklim bölgelerinde ısıtma yükü toplam yıllık enerji tüketiminin çok büyük bir kısmını oluşturur.
- Aydınlatma ihtiyaçları: Kış aylarında uzun karanlık süreleri, büyük kapalı alanların ışıklandırılması, özellikle laboratuvar ve kütüphane gibi yerlerde yüksek aydınlatma seviyeleri tüketimi artırır.
- Bilişim ve teknik altyapılar: Sunucu odaları, bilgi işlem merkezleri ve sürekli çalışan teknolojik cihazlar elektrik tüketiminin ciddi bir kısmını oluşturur.

Bu nedenle kampüs binalarında enerji verimliliği çalışmaları sadece ekonomik fayda sağlamaz; aynı zamanda sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluk açısından da büyük önem taşır.

2.1.Kampüslerde Enerji Yönetiminin Zorunlu Hale Gelmesi

Enerji maliyetlerinin giderek artması, fosil yakıt kullanımının çevresel etkileri ve küresel iklim değişikliği bağlamında üniversite kampüslerinin enerji yönetimi daha kritik bir hâl almıştır. Bir kampüs genelinde onlarca binanın bulunduğu düşünüldüğünde, bu binaların enerji tüketimlerinin tek tek değil, bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekir. Enerji yönetiminin temel amaçları arasında [13]:

- Enerji maliyetlerinin azaltılması,
- Enerji tüketiminde verimliliğin artırılması,

- Karbon ayak izinin düşürülmesi,
- Kullanıcı konfor koşullarının iyileştirilmesi,
- Enerji tüketiminin ölçülmesi, izlenmesi ve raporlanması,
- Yenilenebilir enerji kullanım oranının artırılması

gibi hedefler bulunmaktadır. Özellikle kamu üniversitelerinde enerji bütçeleri yıllık gider kalemlerinin önemli bir kısmını oluşturduğundan, etkin bir enerji yönetimi doğrudan ekonomi yönetimi anlamına gelmektedir [14, 15].

2.2.Kampüs Binalarında Karşılaşılan Enerji Sorunları

Literatüre ve saha uygulamalarına göre üniversite kampüslerinde en sık karşılaşılan enerji problemleri şunlardır:

- Yetersiz yalıtım ve eski yapı stoğu nedeniyle yüksek ısı kayıpları
- Düşük verimli ısıtma-soğutma sistemleri
- Manuel kumanda edilen cihazlar nedeniyle kontrol kayıpları
- Yanlış aydınlatma tasarımları ve verimsiz ışık kaynakları
- Enerji izleme ve ölçme altyapısının eksikliği
- Kullanıcı davranışları nedeniyle gereksiz tüketimler
- Dış ortam sıcaklığıyla orantısız işletme stratejileri
- Yenilenebilir enerji kullanımının düşük olması

Bu sorunlar, kampüs ölçeğinde yıllık enerji tüketiminin gereğinden fazla yükselmesine ve karbon salımlarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle üniversite yönetimleri enerji yönetim sistemlerini stratejik bir altyapı olarak kabul etmeye başlamıştır [16].

3. MATERYAL VE METOD

Muş Alparslan üniversitesi kampüsünde enerji tüketimi son dört yılın verileri ışığında faturalarından toplanan sonuçlar elektrik enerjisi ve ısınma ile jeneratör için kullanılan yakıt enerjisi olarak ilgili yıla ait aylık ve dönemlik faturalardan 2016-2019 yıllarına ait veriler toplanarak hesaplanmıştır. Ayrıca ilgili yıla ait enerji tüketimini etkileyen personel sayıları, toplam bina alanları ve ülkemize ait yıllık dış sıcaklık verileri toplanmıştır. MŞÜ binalarının toplam 2016 yılına ait personel sayısı, toplam kapalı alan ve toplam TEP tüketimi çizelge 1 ve çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. MŞÜ 2016 yılına ait enerji tüketim değerleri-1

Yıl	Aktif Çalışan Sayısı (Personel Öğrenci)	Toplam İnşaat Alanı (m²)	Toplam Tüketim (TEP)	Kişi başı enerji tüketimi (kişi/ TEP)	Enerji Yoğunluğu Alana Göre

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2016	9496	107508,00	2201,19	0,2318	0,0204

Çizelge 2. MŞÜ 2016 yılına ait enerji tüketim değerleri-2

Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TEP)	Yakıt tüketimi (doğalgaz sm^3)	Yakıt tüketimi (doğalgaz-TEP)	Diğer Yakıt Tüketimi (Fueloil - no:4 ton)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (TEP)	Jeneratör Tüketimi (Motorin-lt)	Jeneratör Tüketimi (TEP)
3.888.312,00	334,39	0	0	1.919	1.842,24	24,56	24,56

2016 yılında personel sayısı 9496, toplam kapalı alan 107508 m² ve toplam tüketim 2201,9 TEP olarak hesaplanmıştır. MŞÜ binalarının toplam 2017 yılına ait personel sayısı, toplam kapalı alan ve toplam TEP tüketimi çizelge 3 ve çizelge 4'de gösterilmiştir.

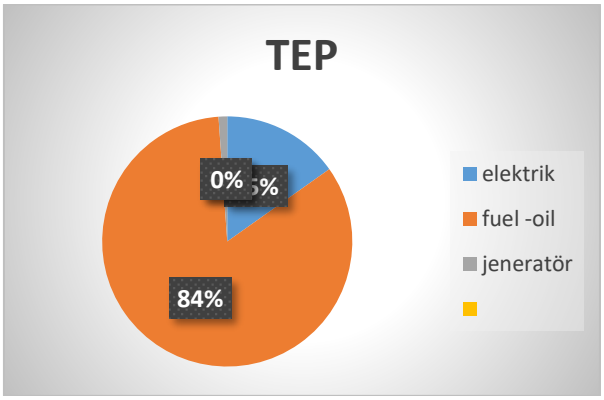
Çizelge 3. MŞÜ 2017 yılına ait enerji tüketim değerleri-1

Yıl	Aktif Çalışan Sayısı (Personel Öğrenci)	Toplam İnşaat Alanı (m²)	Toplam Tüketim (TEP)	Kişi başı enerji tüketimi (kişi/ TEP)	Enerji Yoğunluğu Alana Göre
2017	9191	135.024,00	2508,63	0,2729	0,0185

Çizelge 4. MŞÜ 2017 yılına ait enerji tüketim değerleri-2

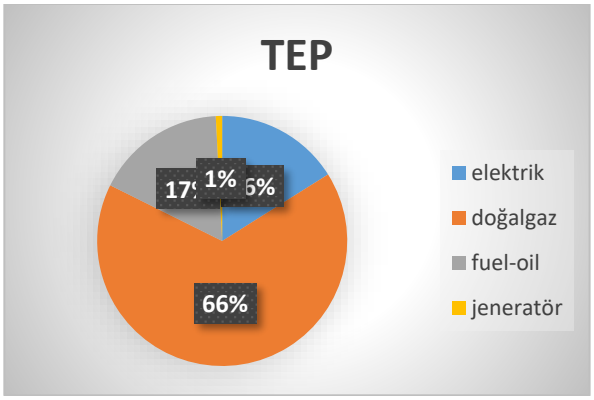
Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TEP)	Yakıt tüketimi (doğalgaz sm3)	Yakıt tüketimi (doğalgaz-TEP)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (Fueloil - no:4 ton)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (TEP)	Jeneratör Tüketimi (Motorin-lt)	Jeneratör Tüketimi (TEP)
4690066	403,35	2014935	1662,32	422,4	20156,61	20156,61	20,56

2017 yılında personel sayısı 9191, toplam kapalı alan 135024 m² ve toplam tüketim 2508,63 TEP olarak hesaplanmıştır. Enerji türünden tüketim oranları ise görsel 1 ve görsel 2'de gösterilmiştir.



Görsel 1. 2016 yılı kampüs enerji dağılımı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 2. 2017 yılı kampüs enerji dağılımı

MŞÜ binalarının toplam 2018 yılına ait personel sayısı, toplam kapalı alan ve toplam TEP tüketimi çizelge 5 ve çizelge 6'a gösterilmiştir.

Çizelge 5. MŞÜ 2018 yılına ait enerji tüketim değerleri-1

Yıl	Aktif Çalışan Sayısı (Personel Öğrenci)	Toplam İnşaat Alanı (m²)	Toplam Tüketim (TEP)	Kişi başı enerji tüketimi (kişi/ TEP)	Enerji Yoğunluğu Alana Göre
2018	9362	137.506,00	1.843,44	0,196907071	0,01340628

Çizelge 6. MŞÜ 2018 yılına ait enerji tüketim değerleri-2

Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TEP)	Yakıt tüketimi (doğalgaz sm³)	Yakıt tüketimi (doğalgaz-TEP)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (Fueloil - no:4 ton)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (TEP)	Jeneratör Tüketimi (Motorin-lt)	Jeneratör Tüketimi (TEP)
3.449.709,00	296,67	1.849.625	1.525,94	0	0	20.427,00	20,83

2018 yılında personel sayısı 9362, toplam kapalı alan 137506 m² ve toplam tüketim 1843,44 TEP olarak hesaplanmıştır. MŞÜ binalarının toplam 2019 yılına ait personel sayısı, toplam kapalı alan ve toplam TEP tüketimi çizelge 7 ve çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. MŞÜ 2019 yılına ait enerji tüketim değerleri-2

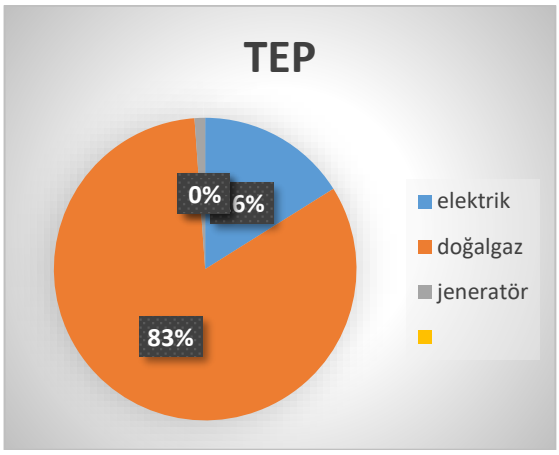
Yıl	Aktif Çalışan Sayısı (Personel Öğrenci)	Toplam İnşaat Alanı (m²)	Toplam Tüketim (TEP)	Kişi başı enerji tüketimi (kişi/ TEP)	Enerji Yoğunluğu Alana Göre
2019	9353	137.506,00	1993,56	0,2335	0,0158

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

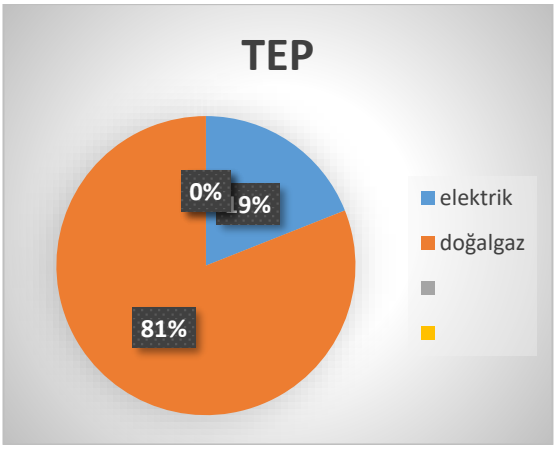
Çizelge 8. MŞÜ 2019 yılına ait enerji tüketim değerleri-2

Elektrik tüketimi (kWh)	Elektrik tüketimi (TEP)	Yakıt tüketimi (doğalgaz sm^3)	Yakıt tüketimi (doğalgaz-TEP)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (Fueloil - no:4 ton)	Diğer Yakıt Tüketimi-1 (TEP)	Jeneratör Tüketimi (Motorin-lt)	Jeneratör Tüketimi (TEP)
	378,55		1615,01	0	0		

2019 yılında personel sayısı 9353, toplam kapalı alan 137506 m² ve toplam tüketim 1993,56 TEP olarak hesaplanmıştır. 2018 ve 2019 yılı için enerji türünden tüketim oranları ise görsel 3'de ve görsel 4'de gösterilmiştir.



Görsel 3. 2018 yılı kampüs enerji dağılımı



Görsel 4. 2019 yılı kampüs enerji dağılımı

Kampüste bulunan 30 adet bina verilerinin toplam enerji tüketimlerinin hem teorik olarak hem de 4 yıllık uygulama olarak hesaplandıktan sonra enerji tüketimini etkileyen faktörlerden mahal alanı, personel sayısı ve dış sıcaklık olarak üç parametre ile karşılaştırılması

yapılmıştır. Kampüsün yıllara göre enerji tüketimini etkileyen veriler sayısal olarak çizelge 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. MŞÜ yıllara göre enerji tüketimini etkileyen veriler

Yıllar	Tep	Kapalı Alan (Km^2)	Personel (Adet)	Sıcaklık (^OC)
2016	2201,19	107	9496	14
2017	2508,63	135	9191	13,7
2018	1843,44	137	9362	15,1
2019	1993,56	137	9353	14,4
BEP-TR	2414,34	137	9362	Ort. sıcaklık

Kampüsde bulunan 30 adet binanın toplam enerji tüketimleri 2016 yılında 2201,19 TEP, 2017 yılında 2508,63 TEP, 2018 yılında 1843,44 TEP, 2019 yılında 1993,56 TEP ve teorik olarak BEP-TR yazılım programında ise 2414,34 TEP olarak hesaplanmıştır. Yıllara göre kapalı alan 2016 yılında 107 Km2, 2017 yılında 135 Km2 ve 2018-2019 yılında 137 Km2 olarak ölçülmüştür. BEP-TR yazılım programında ise 137 Km2, olarak veri girişi yapılmıştır. Personel sayısına bakıldığında ise 2016 yılında 9496 adet, 2017 yılında 9191 adet, 2018 yılında 9362 adet ve 2019 yılında 9353 adet olarak sayılmıştır. BEP-TR yazılım programında ise 9362 adet olarak veri girişi yapılmıştır. Türkiye'de dış sıcaklığın yıllara göre ölçümlerine baktığımızda 2016 yılında 14 °C, 2017 yılında 13,7 °C, 2018 yılında 15,1 °C ve 2019 yılında ise 14,4 °C olarak ölçülmüştür. BEP-TR yazılım programında dış sıcaklık verisi ortalama değer üzerinden hesaplatılmaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Muş Alparslan Üniversitesi kampüsünde yer alan farklı bina tiplerinin enerji performansı hem BEP-TR yazılımı ile hesaplanan teorik değerler hem de 2016–2019 yıllarına ait gerçek enerji tüketim verileri kullanılarak analiz edilmiştir. Kampüs genelinde 30 binaya ait enerji tüketimleri karşılaştırılmış ve yıllara bağlı değişim eğilimleri ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, kampüs binalarının enerji tüketimlerinin kapalı alan büyüklüğü, personel sayısı ve dış ortam sıcaklığı gibi parametrelerle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. BEP-TR ile hesaplanan teorik enerji tüketim değerlerinin, gerçek tüketimlere kıyasla daha yüksek olduğu görülmüş; bu durum kullanıcı davranışları, işletme koşulları ve sistem verimliliklerinin enerji performansı üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Çalışma, kampüs ölçeğinde enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi ve enerji verimliliğini artırmaya yönelik uygulamaların planlanması için yol gösterici niteliktedir.

KAYNAKÇA

1. Koç, E., Şenel, M. C. *Dünyada ve Türkiye'de enerji durumu–genel değerlendirme*, Mühendis ve Makina Dergisi, 54(639): 32–44, 2013.

2. Kınacı, M. F. *BEP-TR, Passivhaus ve EnergyStar hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul, 2015.

3. Türkiye Cumhuriyeti. *Binalarda enerji performansı ulusal hesaplama yöntemine dair tebliğ (Tebliğ No: MHG/2017-26) ekler*, 2017.

4. Türkiye Cumhuriyeti. *Binalarda enerji performansı ulusal hesaplama yöntemine dair tebliğ (Tebliğ No: MHG/2017-26) ekler*, 2017.

5. Terekli, G., Özkan, O., Bayın, G. *Çevre dostu hastaneler: Hastaneden yeşil hastaneye*, Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 12(2): 37, 2013.

6. Paçacı, İ., Ülgen, K., Söğüt, M. *Kamu binalarında düşük karbon salınımlı enerji yönetim modeli ve örnek uygulama*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 28(178): 67–75, 2020.

7. Çevre ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. *İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik*, 5. Madde, 2013.

8. Çevre ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. *İşyeri bina ve eklentilerinde alınacak sağlık ve güvenlik önlemlerine ilişkin yönetmelik*, 15. Madde, 2013.

9. Özbakır, P. *Enerji yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.

10. Erdoğan, S. *Enerji, çevre ve sera gazları*, Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 10(1): 277–303, 2020.

11. Baysal, R. *Akıllı binalarda enerji yönetimi ve kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008.

12. Eroğlu, İ. *Binalarda enerji yönetimi ve enerji kullanım verimliliğini etkileyen faktörlerin yapay zekâ teknikleri ile analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2010.

13. Ünal, Ö., Bayram, M. *Binalarda enerji performansı hesaplama yöntemi (BEP-TR1)'in kullanılabilirliğinin ve EKB uygulamasının değerlendirilmesi*, 13. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 19–22 Nisan, s. 265–277, 2017.

14. Yağlı, H., Koç, Y., Koç, A., Görgülü, A., Tandıroğlu, A. *Parametric optimization and exergetic analysis comparison of subcritical and supercritical organic Rankine cycle (ORC) for biogas fuelled combined heat and power (CHP) engine exhaust gas waste heat*, Energy, 111: 923–932, 2016.

15. Yaman, M. C., Gökçen, G. *Kamu sektöründe enerji yönetimi: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) örneği*, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 25–28 Ekim, s. 873–886, 2007.

16. Canbay, Ç. S., Gökçen, G., Hepbaşlı, A. *Bina yönetim sistemleri ve HVAC sistemlerinde enerji tasarrufuna yönelik kontrol ilkeleri*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 84: 5–19, 2004.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BURSA'DA TOPLU TAŞIMADAN KAYNAKLANAN HAVA KİRLETİCİ EMİSYONLARININ HESAPLANMASI

Selim KÖS
Bursa Uludağ Üniversitesi,
032050023@ogr.uludag.edu.tr

Öğr. Gör. Mehmet Ferhat SARİ
İstanbul Arel Üniversitesi
mehmetferhatsari@arel.edu.tr - 0000-0001-7114-7286

Prof. Dr. Fatma ESEN
Bursa Uludağ Üniversitesi,
payan@uludag.edu.tr – 0000-0002-1445-0868

ÖZET

Hızlı kentleşme, artan nüfus yoğunluğu ve buna bağlı olarak yükselen ulaşım talebi, şehir içi hava kalitesini olumsuz etkileyen önemli faktörlerden biridir. Ulaşım kaynaklı emisyonlar, özellikle dizel yakıtlı araçlardan kaynaklanan partikül madde ve azot oksit salımları nedeniyle hem çevresel hem de halk sağlığı açısından ciddi bir risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, toplu taşıma sistemlerinin çevresel performansının değerlendirilmesi, sürdürülebilir kentsel ulaşım planlaması açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında, Bursa ilinde toplu taşıma faaliyetlerini yürüten BURULAŞ'a ait otobüs filosunun atmosfere saldığı kirletici emisyonlar hesaplanarak çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, BURULAŞ bünyesindeki dizel yakıtlı otobüslerin 2025 yılına ait yakıt tüketim verileri ve IPCC (2019) tarafından önerilen emisyon faktörleri kullanılarak CO_2, CO, CH_4, NO_x, N_2O, PM, UOB ve SO_2 gibi hava kirletici gazların yıllık, aylık, haftalık ve günlük bazda emisyon miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda yalnızca 2025 yılı içerisinde toplamda 32.598,73 ton CO_2; 10,38 kg CH_4; 31,15 kg N_2O; 219,64 kg SO_2; 519.088 kg NO_x; 207.635,2 kg CO; 10.981,76 kg PM ve 32.945,28 kg UOB salımının gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu bulgular, dizel yakıtlı otobüslerin hava kirliliğine olan etkisini açıkça ortaya koymakta ve mevcut ulaşım yapısının çevresel sürdürülebilirlik açısından yeniden ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Çalışma sonucunda, Bursa kentinde toplu taşımadan kaynaklanan emisyonların azaltılması ve hava kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak elektrikli otobüslerin filoya dahil edilmesi, alternatif yakıt kullanımı (biyodizel, CNG, biyogaz) ve entegre ulaşım politikalarının hayata geçirilmesi gibi çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Emisyon hesabı, toplu taşıma, IPCC, dizel otobüs, hava kirliliği, sürdürülebilir ulaşım

1. GİRİŞ

Günümüzde artan kentleşme ve nüfus yoğunluğu ulaşım talebinde ciddi bir artışa yol açmakta ve bu durum çevre üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Özellikle büyükşehirlerde bireysel araç kullanımının yaygınlaşması, ulaşım sistemlerinin çevresel sürdürülebilirliği açısından ciddi sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunların başında ise hava kirliliği gelmektedir. Ulaşım sektörü, ağırlıklı olarak fosil yakıt tüketimine dayandığı için önemli miktarda sera gazı ve zararlı kirletici madde emisyonuna sebep olmaktadır (Avrupa Çevre Ajansı, 2021). Başta karbondioksit (CO_2) olmak üzere azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), karbon monoksit (CO) ve partikül maddeler (PM10 ve PM2.5) gibi emisyonlar, yalnızca atmosferin kimyasal dengesini bozmakla kalmamakta, aynı zamanda insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO, 2018) göre, dünya genelinde her yıl milyonlarca erken ölüm, doğrudan ya da dolaylı olarak hava kirliliğine bağlı olarak gerçekleşmektedir. Solunum yolu hastalıkları, kardiyovasküler problemler, çocuklarda gelişim bozuklukları gibi pek çok sağlık sorunu bu kirleticilerle ilişkilendirilmiştir.

Türkiye ve dünya genelinde yapılan bilimsel çalışmalar, toplu taşımanın havadaki kirleticileri azaltmadaki potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Ancak bu potansiyelin etkin hale gelmesi için elektrikli araç dönüşümleri, entegre ulaşım planlamaları, toplu taşıma ağlarının genişletilmesi ve kamu bilincinin artırılması gibi bütüncül politikaların hayata geçirilmesi gerekmektedir. Özellikle büyükşehirlerde özel araç kullanımına karşı caydırıcı önlemlerle birlikte, toplu taşımanın cazip hale getirilmesi çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir.

Bu bağlamda, ulaşımdan kaynaklanan emisyonların doğru ve güvenilir yöntemlerle hesaplanması gerek akademik araştırmalar gerekse kamu politikalarının planlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Emisyon hesaplamaları sayesinde mevcut kirlilik seviyeleri nicel olarak ortaya konulabilir; böylece hem mevcut durumun çevreye ve toplum sağlığına etkileri analiz edilebilir hem de ulaşım sektörünün daha düşük emisyonlu hale gelmesine yönelik stratejiler geliştirilebilir.

Bu çalışmanın amacı; Bursa ilinde, toplu taşımada kullanılan otobüslerden kaynaklanan hava kirliliği emisyonlarını kullanılan yakıt miktarları ve emisyon faktörlerine bağlı olarak hesaplayıp mevcut durumu ortaya koymaktır. Ayrıca elde edilecek sonuçlarla birlikte nasıl bir yol izlenmesi gerektiği ortaya konulacaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bursa'daki Toplu Taşıma Sistemi

Bursa şehir içi ulaşımının temelini uzun yıllar boyunca otobüs ve minibüs hatları oluşturmuştur. Bursa Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı BURULAŞ şirketi, toplu taşımanın otobüs ayağını yürütmektedir. BURULAŞ bünyesinde 550'yi aşkın otobüs, tam 140 hat üzerinde faaliyet göstermektedir (BURULAŞ, 2025).

Minibüsler ise daha esnek ve küçük ölçekli ulaşım ağı sunarak, özellikle mahalle aralarına ve yoğun otobüs seferi olmayan bölgelere hizmet vermektedir. Ancak minibüs ve otobüs güzergahlarının zaman zaman çakışması, hat planlaması açısından etkinlik sorunları

yaratmaktadır (Kılıçaslan, 2016). Bu çakışmalar, kent içi ulaşımda verimliliği azaltmakta ve trafik yoğunluğunu artırmaktadır.

Nüfus artışı ve kentleşme oranındaki yükselme, şehir içi ulaşımda yeni çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda Bursa, son yıllarda toplu taşıma sistemlerini çeşitlendirerek modernize etmeye yönelmiştir (Kılıçaslan, 2016).

Bursa'nın kent merkezinde trafik yoğunluğunu azaltmak amacıyla tramvay sistemi geliştirilmiştir. Tramvay hatları, özellikle tarihi bölgeler ile alışveriş ve turizm odaklarının bulunduğu yerler arasında bağlantı sağlamaktadır. Ancak tramvay sisteminin şehir merkezine sınırlı olması, genel toplu taşıma ağına entegrasyon açısından bazı sınırlamalar doğurmaktadır.

Bursa’da metro sistemi, Bursaray adıyla 2002 yılında hizmete alınmıştır. Bursaray, doğu-batı ekseninde şehir merkezini Organize Sanayi Bölgesi (OSB) ve Emek gibi önemli iş ve yerleşim merkezlerine bağlamaktadır (Kılıçaslan, 2016). Bursaray'ın en büyük avantajı, şehir trafiğinden bağımsız çalışması ve yolcu taşıma kapasitesinin minibüs ve otobüs sistemlerine kıyasla çok daha yüksek olmasıdır.

Bursa Büyükşehir Belediyesi, modern ulaşım yönetimi için "Akıllı Ulaşım Sistemleri" (AUS) uygulamalarını da devreye sokmuştur. Bu sistemler; trafik yoğunluğunu izleyen kameralar, dinamik kavşak yönetimi, yolcu bilgilendirme ekranları, mobil uygulamalar ve dijital ödeme altyapılarını kapsamaktadır (Uzer ve Özaslan, 2023).

Bu gelişmeler hem toplu taşımanın cazibesini artırmakta hem de bireysel araç kullanımını azaltarak şehir içi trafik yükünü hafifletmektedir.

Bu çalışmada, BURULUAŞ bünyesinde bulunan 571 otobüs ele alınmıştır.

2.2. Toplu Taşımada Faaliyet Gösteren Otobüsler

Toplu taşıma sistemlerinin kent yaşamındaki işlevi, yalnızca bireylerin bir noktadan diğerine ulaşmasını sağlamakla sınırlı değildir. Aynı zamanda enerji tüketimi, çevresel sürdürülebilirlik ve şehir planlaması açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, Bursa’da toplu taşımacılık faaliyetlerini yürüten BURULAŞ’ın otobüs filosu, taşıdığı yolcu sayısı kadar teknik özellikleri ve yıllık faaliyet verileriyle de dikkat çekmektedir.

BURULAŞ tarafından sağlanan Nisan 2025 tarihli verilere göre, Bursa kent içi ulaşım sisteminde toplam 571 adet otobüs hizmet vermektedir. Bu otobüsler farklı uzunluklarda olup, taşıma kapasitelerine ve hizmet verdikleri hat türlerine göre çeşitlenmektedir. Aşağıdaki Çizelge 1’de, otobüslerin uzunluklarına göre sayıları ve yıllık olarak kat ettikleri toplam mesafeler yer almaktadır:

Çizelge 2: Otobüslerin uzunluklarına göre sayıları ve yıllık olarak kat ettikleri toplam mesafeler

Otobüs Uzunluğu (metre)	Hat Adeti	Aylık Kat Edilen Mesafe (km)	Yıllık Kat Edilen Mesafe (km)
6	44	360.033	4.320.396
8	18	112.642	1.351.708
9	72	583.423	7.001.08
12	100	1.389.855	16.678.260
18	11	277.281	3.327.372

Verilere göre, en yaygın kullanılan araçlar 12 metrelik otobüslerdir. Bu araçlar, filonun yaklaşık %41'ini oluşturmakta olup, yıllık toplamda 16 milyon kilometreden fazla yol kat etmektedir. Bu da toplam mesafenin neredeyse yarısına denk gelmektedir. 18 metrelik körüklü otobüsler ise sayıca az olmalarına rağmen, özellikle yoğun hatlarda görev almaları sebebiyle yıllık yaklaşık 3,3 milyon kilometrelik önemli bir katkı sağlamaktadır.

Otobüslerin kent içi ulaşımdaki çevresel etkilerini belirleyen temel unsurlardan biri de yakıt tüketimidir. BURULAŞ filosunda yer alan otobüslerin tamamı dizel motorlu olup, yakıt tüketimi otobüs uzunluğu ve hat yapısına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Aşağıdaki Çizelge 2'de, otobüslerin uzunluklarına göre yakıt tüketim miktarları yer almaktadır:

Çizelge 3. Otobüslerin uzunluklarına göre yakıt tüketim miktarları (BURULAŞ)

Otobüs Uzunluğu (m)	Yakıt Alt Tüketim Limiti (L)	Yakıt Üst Tüketim Limiti (L)	Ortalama Tüketim (L)
6	15	17	16
8	33	35	34
9	37	38	37,5
12	40	44	42
18	50	52	51

Bu değerler, otobüs uzunluğu arttıkça yakıt tüketiminin de arttığını açıkça göstermektedir. Özellikle 12 ve 18 metrelik otobüslerin yüksek yakıt tüketimi hem ekonomik hem de çevresel açıdan dikkatle ele alınması gereken bir durumdur. Örneğin, 12 metrelik bir aracın bazı hatlarda yıllık ortalama yakıt tüketimi 3 milyon litreye kadar çıkabilmektedir.

2.3. Ulaşımdan Kaynaklanan Kirleticilerin Hesaplama Yöntemleri

Bu çalışmada emisyon hesaplamalarında IPCC'nin önerdiği metodoloji temel alınmıştır. IPCC yöntemi, ulaşım gibi fosil yakıt tüketimine dayalı sektörlerden kaynaklanan sera gazı ve kirletici emisyonlarının hesaplanmasında yaygın olarak kullanılan bilimsel ve standart bir

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

yaklaşımdır. Yakıt tüketimi verileri esas alınarak, her kirletici için belirlenmiş emisyon faktörleri ile çarpma yoluyla toplam emisyon miktarları elde edilir. Bu yöntem sayesinde, CO_2, CH_4, N_2O gibi sera gazlarının yanı sıra CO, NO_x, PM, UOB ve SO_2 gibi zararlı kirleticilerin de nicel olarak belirlenmesi mümkün olur. Böylece ulaşım kaynaklı çevresel etkilerin ortaya konulması ve sürdürülebilir ulaşım stratejilerine zemin hazırlanması hedeflenir. IPCC'nin rehberliğinde otobüslerin emisyonları genel olarak iki ana kategori altında incelenmektedir. Bunlar sera gazları ve hava kirleticileri olup, bu çalışmada hava kirleticileri ele alınacaktır.

Emisyon Faktörleri

IPCC 2019 Refinement kılavuzunda önerilen ortalama emisyon faktörleri, otobüslerde kullanılan yakıt türüne ve motor teknolojisine bağlı olarak değişmektedir. Örnek emisyon faktörleri aşağıda Çizelge 3'te özetlenmiştir:

Çizelge 4. Kirleticiye göre emisyon faktörleri (IPCC, 2019)

Kirletici	Yakıt Türü	Emisyon Faktörü (kg/ton yakıt)
CO_2	Dizel	3140
CH_4	Dizel	0,001
N_2O	Dizel	0,003
NO_x	Dizel	50
PM	Dizel	1,0
UOB	Dizel	3,0
SO_2	Dizel (0.001% S)	0,02
CO	Dizel	20

Ulaşımdan kaynaklanan emisyonlar aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

Emisyon (kg)=Yakıt Tüketimi (ton)×Kirletici Emisyon Faktörü (kg kirletici/ton yakıt) (1)

3. SONUÇLAR

Denklem (1) yardımıyla CO, NO_x, SO_2, CH_4, N_2O, PM ve UOB kirleticileri ile CO_2'e ait emisyonlar yıllık, aylık, haftalık ve günlük periyotlarda hesaplanmış olup Çizelge 4-7'de verilmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 4. Kirleticilerin yıllık ortalama emisyon miktarları

Kirletici	Yıllık Ortalama Emisyon Miktarı (kg)
CO_2	32598726,4
CH_4	10,4
N_2O	31,2
CO	207635,2
NO_x	519088
PM	10981,8
UOB	32945,3
SO_2	219,6
SO_2 (S içeriğine göre)	439,3

Çizelge 5. Kirleticilerin aylık ortalama emisyon miktarları

Kirletici	Aylık Ortalama Emisyon Miktarı (kg)
CO_2	2716560,5
CH_4	0,9
N_2O	2,6
CO	17302,9
NO_x	43257,3
PM	915,2
UOB	2745,4
SO_2	18,3
SO_2 (S içeriğine göre)	36,6

Tablo 5: Kirleticilerin haftalık ortalama emisyon miktarları

Kirletici	Haftalık Ortalama Emisyon Miktarı (kg)
CO_2	626898,6
CH_4	0,2
N_2O	0,6
CO	3993
NO_x	9982,5
PM	211,2
UOB	633,6
SO_2	4,2
SO_2 (S içeriğine göre)	8,45

Çizelge 6. Kirleticilerin günlük ortalama emisyon miktarları

Kirletici	Günlük Ortalama Emisyon Miktarı (kg)
CO_2	89311,6
CH_4	0,03
N_2O	0,09
CO	588,9
NO_x	1422,2
PM	30,1
UOB	90,3
SO_2	0,6

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SO_2 (S içeriğine göre)	1,2

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

4.1. Genel Değerlendirme

Bu çalışmanda, Bursa ili özelinde toplu taşıma sisteminden kaynaklanan hava kirletici emisyonları analiz edilmiştir. Özellikle BURULAŞ bünyesinde faaliyet gösteren otobüs filosunun yakıt tüketimine bağlı olarak atmosferik emisyonlara katkısı, IPCC (2019) kılavuzlarında yer alan emisyon faktörleri temel alınarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, yalnızca 2025 yılı içerisinde dizel yakıtla çalışan BURULAŞ otobüslerinden kaynaklanan toplam emisyon miktarının 32598,73 ton CO_2, 10,38 kg CH_4, 31,15 kg N_2O, 219,64 kg SO_2, 519088 kg NO_x, 207635,2 kg CO, 10981,76 kg PM ve 32945,28 kg UOB olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kükürt içeriği göz önüne alındığında yaklaşık 439,28 kg SO_2 emisyonu meydana geldiği belirlenmiştir.

Bu veriler, kent içi ulaşımdan kaynaklanan emisyonların sanıldığından çok daha yüksek olduğunu ve şehirlerdeki hava kalitesi üzerinde doğrudan ve dolaylı ciddi etkiler yarattığını göstermektedir. Özellikle PM ve NO_x gibi kirleticiler, insan sağlığı üzerinde akut ve kronik etkiler doğurarak, başta solunum ve kardiyovasküler hastalıklar olmak üzere birçok sağlık sorununun temel nedeni olarak değerlendirilmektedir (WHO, 2018; EPA, 2020). Aynı zamanda bu emisyonlar, sera gazı etkisi yaratarak iklim değişikliği sürecini de hızlandırmaktadır.

Bursa'nın hızlı nüfus artışı ve kentsel yayılımı dikkate alındığında, mevcut ulaşım sisteminin çevresel sürdürülebilirlik bağlamında dönüşüme ihtiyaç duyduğu açıktır. BURULAŞ verilerine göre 2025 yılı itibarıyla 550'yi aşkın otobüsün tamamı dizel motorludur ve bu otobüslerin yıllık toplamda 10 milyon litreden fazla yakıt tükettiği hesaplanmaktadır. Bu da kentsel ölçekte enerji verimliliği, emisyon azaltımı ve iklim politikaları açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Projenin bulguları, klasik dizel yakıtlı toplu taşıma sisteminin sürdürülebilirlik kriterlerini karşılamadığını ortaya koymakta ve yenilikçi çözümlere duyulan ihtiyacı açıkça göstermektedir. Özellikle elektrikli ve alternatif yakıtlı taşıt teknolojilerinin entegrasyonu, entegre ulaşım planlaması ve bireysel araç kullanımının azaltılması gibi bütüncül politikaların geliştirilmesi gereklidir. Aşağıda, bu çerçevede uygulamaya konulabilecek stratejik öneriler sunulmaktadır.

4.2. Emisyon Azaltımı İçin Öneriler

4.2.1. Elektrikli Araçlara Geçişin Sağlanması

Elektrikli otobüsler, sıfır egzoz emisyonu özelliğiyle fosil yakıtlı taşıtlara kıyasla çok daha çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Elektrikli araçların CO, NO_x, PM, SO_2 ve UOB gibi kirleticiler bakımından neredeyse sıfır emisyona sahip olduğu bilinmektedir (Jing ve ark., 2022). Özellikle şehir içi yoğun trafiğe sahip hatlarda elektrikli otobüslerin kullanılması hem hava kalitesinde iyileşme hem de trafik gürültüsünün azaltılması açısından büyük fayda sağlayacaktır.

Elektrikli araç teknolojisinin ilk yatırım maliyeti yüksek olmakla birlikte, uzun vadede bakım giderleri, enerji verimliliği ve karbon kredisi avantajları sayesinde ekonomik olarak da avantajlıdır. Ayrıca elektrikli araçlar, "yeşil enerji" kaynaklarıyla beslenmeleri durumunda toplam emisyon yükünü sıfıra kadar düşürebilmektedir (IEA, 2023). Bu bağlamda Bursa Büyükşehir Belediyesi'nin elektrikli araç şarj altyapısını hızla geliştirmesi ve BURULAŞ filosunu kademeli olarak elektrikli otobüslerle yenilemesi büyük önem arz etmektedir.

4.2.2. Alternatif Yakıt Türlerinin Kullanılması

Elektrikli araçlara geçişin orta vadede gerçekleşebileceği dikkate alındığında, kısa vadeli bir çözüm olarak biyodizel, biyogaz ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) gibi alternatif yakıt türlerinin toplu taşımada kullanımı teşvik edilmelidir. CNG kullanan otobüslerin NO_x ve PM emisyonlarının, dizel otobüslere kıyasla %25–40 oranında daha düşük olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır (IPCC, 2019). Aynı şekilde, atıklardan elde edilen biyogaz ile çalışan otobüsler hem emisyonları azaltmakta hem de atık yönetimi döngüsüne katkı sağlamaktadır.

BURULAŞ, biyoyakıt projeleri kapsamında tarımsal atıklardan enerji üretim tesisleriyle entegre çalışabilir. Böylece Bursa'nın hem tarım hem de enerji potansiyelinden eşzamanlı olarak faydalanılması mümkün olur. Ayrıca hidrojen yakıt hücreli otobüsler gibi yeni nesil teknolojiler de pilot uygulamalarla test edilmeli ve uygulanabilirliği değerlendirilmeye alınmalıdır.

4.2.3. Sürdürülebilir Kentsel Ulaşım Politikaları

Teknolojik dönüşüm kadar önemli olan bir diğer husus da ulaşım sistemine ilişkin yapısal politikaların yeniden düzenlenmesidir. Aşağıda, Bursa özelinde geliştirilebilecek stratejik politika önerileri sunulmuştur:

- Toplu taşıma, öncelikli ulaşım politikaları benimsenmelidir. Bu kapsamda, metro, tramvay ve otobüs sistemleri arasında entegrasyon artırılarak ulaşım ağı güçlendirilmelidir.
- Özel araç kullanımını caydırıcı önlemler (yüksek park ücretleri, trafik sınırlamaları, şehir merkezi giriş kısıtlamaları vb.) hayata geçirilmelidir.
- Bisiklet yolları, scooter şeritleri ve yaya altyapısı geliştirilmeli, mikro-mobilite çözümleri ile kısa mesafeli yolculuklar motorlu taşıtlardan arındırılmalıdır.
- Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) ile trafik yoğunluğu azaltılmalı, toplu taşıma araçları gerçek zamanlı olarak takip edilmeli ve kullanıcı deneyimi iyileştirilmelidir.
- Emisyon bazlı vergi düzenlemeleri, karbon fiyatlandırması ve kamu ulaşımı sübvansiyonları gibi ekonomik araçlarla düşük emisyonlu ulaşım teşvik edilmelidir.

Sürdürülebilir ulaşım politikaları yalnızca çevreyi korumakla kalmayıp, aynı zamanda kent sakinlerinin yaşam kalitesini artırmakta, sosyal eşitliği desteklemekte ve ulaşım güvenliğini artırmaktadır. Bu nedenle BURULAŞ ve Bursa Büyükşehir Belediyesi, ulaşım stratejilerini yalnızca ulaşım kolaylığı değil, çevresel adalet, enerji verimliliği ve halk sağlığı ekseninde yeniden tanımlamalıdır.

TEŞEKKÜR

Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) (Proje no: FPDD -2025/2227) destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. EEA. Air Quality in Europe – 2021 Report, European Environment Agency, 2021.
2. IEA. The World Energy Outlook 2023, International Energy Agency, 2023.
3. IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2: Energy, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.
4. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019.
5. Jing, Q.-L., Liu, H.-Z., Yu, W.-Q., He, X. The Impact of Public Transportation on Carbon Emissions—From the Perspective of Energy Consumption, Sustainability, 14, 10, 6248, 2022.
6. Kılıçaslan, H. Belediyelerin raylı ulaşım hizmetlerinin yaygınlaştırılması: Bursa Büyükşehir Belediyesi örneği, Yönetim ve Ekonomi Dergisi, 22, 2, 451–466, 2016.
7. BURULAŞ. Otobüs Yakıt Tüketim Verileri, Bursa Ulaşım Toplu Taşıma İşletmeciliği A.Ş., 2025.
8. Uzer, O., Özaslan, A. Bursa ve Antalya'nın akıllı kentiçi ulaşım denemeleri, Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi, 6, 2, 244–260, 2023.
9. World Health Organization (WHO). Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide: Report on a WHO working group, World Health Organization, Bonn, Germany, 2003.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TÜRKİYE'DE HAVA–TOPRAK ORTAMLARINDAKİ PAH VE PCB'LERİN DAĞILIMI VE FUGASİTE ANALİZİ

Öğr. Gör. Mehmet Ferhat SARİ
İstanbul Arel Üniversitesi,
mehmetferhatsari@arel.edu.tr - 0000-0001-7114-7286

Prof. Dr. Fatma ESEN
Bursa Uludağ Üniversitesi,
payan@uludag.edu.tr – 0000-0002-1445-0868

ÖZET

Kalıcı organik kirleticilerin (KOK'ların) farklı çevresel ortamlardaki varlığı ve davranışları üzerine yapılan çalışmalar, bu bileşiklerin taşınım, birikim ve dönüşüm süreçlerinin anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bununla birlikte, hava ve toprak gibi iki temel çevresel ortamda eş zamanlı örneklemeye dayalı araştırmalar oldukça sınırlı olup, özellikle Türkiye'de bu konuda kapsamlı veri eksikliği bulunmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'de polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve poliklorlu bifenillerin (PCB'ler) ortam havası ve topraktaki eş zamanlı konsantrasyonlarını belirleyerek iki ortam arasındaki değişim dinamiklerini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Bulgular, ortam havasında KOK düzeylerinin genel olarak daha yüksek olduğunu, topraktaki konsantrasyonların ise benzer büyüklükte seyrettiğini göstermiştir. Hava-toprak fugasite analizleri, düşük molekül ağırlıklı PAH ve PCB konjenerleri için net buharlaşma, yüksek molekül ağırlıklı konjenerler için net birikim ve orta molekül ağırlıklı türler için dengeye yakın durumlar ortaya koymuştur. Bu çalışma, Türkiye'de hava-toprak ara geçişlerindeki KOK değişim süreçlerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına ve gelecekteki çevresel risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine bilimsel temel sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kalıcı organik kirleticiler, hava-toprak ara kesiti, fugasite, Bursa

1. GİRİŞ

Kimyasallar modern toplumun gelişimine, üretim verimliliğine ve yaşam kalitesinin yükselmesine önemli katkılar sağlamasına rağmen, uygunsuz kullanım ve bertaraf süreçleri nedeniyle zaman içerisinde ciddi çevresel kirlilik sorunlarına yol açmıştır. Bu geniş kimyasal yelpazenin içinde yer alan

kalıcı organik kirleticiler (KOK'lar), endüstriyel üretim, tarımsal faaliyetler ve çeşitli teknolojik uygulamalarda uzun yıllardır kullanılan bileşik gruplarıdır (Park ve ark. 2020).

KOK'lar arasında yer alan polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) ve poliklorlu bifeniller (PCB'ler), toksisiteleri, biyobirikim potansiyelleri ve uzun mesafeli atmosferik taşınımları nedeniyle küresel ölçekte dikkat çeken çevresel kirleticiler olarak değerlendirilmektedir (Riaz ve ark. 2021). Bu bileşikler, yarı uçucu özellikleri sayesinde atmosferde hem yakın hem de uzak bölgelere taşınabilmekte ve daha sonra kuru veya yaş çökelme mekanizmalarıyla toprağa, suya ve diğer çevresel ortamlara aktarılmaktadır (Riaz ve ark. 2021). Dolayısıyla, atmosferdeki KOK konsantrasyonlarının ölçülmesi, bu maddelerin çevresel kaderinin, taşınım davranışlarının ve dönüşüm süreçlerinin anlaşılmasında kritik bir öneme sahiptir (Gu ve ark. 2021). Havadaki kalıcı organik kirletici konsantrasyonlarının güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için hem aktif hem de pasif hava örnekleme yöntemlerinin özellikle de pasif hava örnekleyicilerin (PAS) kullanılması önerilmektedir (Gu ve ark. 2021).

Yüzey toprakları, ıslak ve kuru atmosferik çökelme süreçleri ile depolama alanlarından gerçekleşen kazara sızıntılar sonucunda çevreye yayılan KOK'lar için geniş bir alıcı ortam oluşturur. Organik madde bakımından zengin yapıları ve yüksek adsorpsiyon kapasitesi nedeniyle topraklar, karasal sistemlerde KOK'ların birincil bir "rezervuarı" olarak kabul edilir (Pokhrel ve ark. 2018; Wang ve ark. 2020). Bununla birlikte, iklim değişikliği kaynaklı küresel ısınma ve emisyonlardaki azalma eğilimleri, yüzey topraklarının bu bileşikleri uzun vadede tutan kalıcı bir depo olmaktan çok, atmosferik ortama yeniden salımın gerçekleştiği "ikincil bir kaynak" gibi davranmasına yol açmaktadır (Li ve ark. 2010; Wang ve ark. 2020). Dolayısıyla, hava ve toprak arasındaki KOK alışverişinin nicelendirilmesi, bu kirleticilerin çevresel taşınımını, dönüşüm mekanizmalarını ve kalıcılıklarını anlamada kritik bir süreçtir (Wu ve ark. 2018; Qu ve ark. 2019a). Bu süreç, hava–toprak bölüşümü olarak tanımlanmakta olup, bir kimyasalın atmosfer ve toprak fazları arasındaki denge eğilimini ifade eder (Deng ve ark. 2021).

KOK'lar atmosfer, toprak, su kütleleri ve diğer karasal ekosistemler arasında sürekli bir döngü içerisinde hareket ederek çevredeki dağılımlarını dinamik biçimde değiştirmektedir (Wang ve ark. 2015). Bu kapsamda, hava–toprak değişim süreçleri, çevredeki KOK seviyelerini ve birikim eğilimlerini kontrol eden temel mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmektedir. Hava ve toprak arasındaki kirletici akışını tanımlamak amacıyla çoğunlukla "fugacity-based" yaklaşımlara dayanan kaçış oranları kullanılmakta olup; bu oranlar KOK'ların çevresel geçiş davranışını nicel olarak değerlendirmek için kritik göstergeler sunmaktadır (Wang ve ark. 2015; Qu ve ark. 2019a).

Türkiye'de atmosfer ve toprakta KOK seviyelerinin belirlenmesine yönelik kapsamlı çalışmalar bulunmasına karşın (Bozlaker ve ark. 2008; Sari ve ark. 2020), iki ortam arasındaki KOK geçişlerinin belirlendiği sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu bağlamda yürütülen mevcut çalışmanın temel amaçları şunlardır: i-) Bursa atmosferinde ve yüzey topraklarında KOK seviyelerini belirlemek ve ii-) hava–toprak değişim süreçlerini ve gaz fazı akılarını ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Örnekleme Yerleri ve Programı

Bu çalışmada, Haziran–Ağustos 2019 döneminde Bursa ilinde 2 farklı noktadan ortam havası ve 4 farklı noktadan ise yüzey toprağı örnekleri toplanmıştır. Örnekleme stratejisi kapsamında, atmosferik hava örnekleri aylık periyotlarla, toprak örnekleri ise her 15 günde bir alınarak mevsimsel değişimlerin ve kısa dönemli varyasyonların yakalanması amaçlanmıştır. Bursa'nın hem yoğun sanayi faaliyetlerine hem de yüksek nüfus yoğunluğuna sahip bir kent olması, farklı kirletici kaynaklarını temsil eden örnekleme alanlarının seçilmesini gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda, potansiyel emisyon kaynaklarına yakınlık dikkate alınarak bir sanayi bölgesi (B1), bir tarım alanı (B2) ve iki yarı kentsel bölge (B3–B4) örnekleme noktası olarak belirlenmiştir. Hava örnekleri B1 ve B2 örnekleme noktalarından alınmışken, toprak örnekleri ise tüm örnekleme noktalarından alınmıştır. Bu çeşitlendirilmiş mekânsal örnekleme yaklaşımı, çalışma alanında KOK konsantrasyonlarının bölgesel ölçekte karşılaştırılmasına ve olası kaynak türlerinin etkilerinin değerlendirilmesine olanak sağlayan önemli bir avantaj sunmaktadır.

Hava örnekleri, adsorban ortam olarak poliüretan köpük (PÜK) kullanan pasif hava örnekleyiciler (PAS) aracılığıyla toplanmıştır. Örnekleyiciler, yer seviyesindeki etkilerden kaçınmak ve temsili atmosferik koşulları yakalamak amacıyla zeminden yaklaşık 3 m yükseğe monte edilmiştir. PAS'lar, yağış ve toz gibi dış etkenlere karşı koruma sağlamak üzere paslanmaz çelikten imal edilmiş koruyucu muhafazalar içinde yerleştirilmiştir. Toprak örnekleri ise 1 m^2'lik bir alandan, yüzeyin yaklaşık 0–3 cm derinliğinden alınmış ve her örneklemede yaklaşık 200 g toprak toplanmıştır.

Örnekleme sürecinde toplanan tüm PÜK diskleri ve toprak numuneleri, kontaminasyonu önlemek amacıyla alüminyum folyo ile sarılmış, ardından sızdırmaz plastik torbalara yerleştirilmiştir. Laboratuvar analizleri gerçekleştirilene kadar örnekler −20 °C'de

derin dondurucuda muhafaza edilmiştir (Esen ve ark. 2019; Sari ve ark. 2020; Sari ve ark. 2021).

2.2. Örnek Analizleri

Örnek hazırlama süreci; örnekleyicilerin temizlenmesi, ekstraksiyon, fraksiyonlama ve nihai konsantrasyon adımlarını kapsamaktadır (Sari ve ark. 2020; Sari ve ark. 2021). PAS'larda kullanılacak PÜK diskleri öncelikle temizlenmiş, bu işlem sırasında diskler 24 saat boyunca distile suda bekletilmiştir. Ardından, Soxhlet cihazında sırasıyla iki kez aseton (ACE) ve bir kez heksan (HEX) ile, her biri 24 saat süren ekstraksiyon uygulanmıştır. Ekstraksiyonun tamamlanmasını takiben PÜK'ler vakumlu desikatörde kurutulmuş, alüminyum folyo ile sarılarak fermuarlı poşetlerde paketlenmiş ve kullanılıncaya kadar −20 °C'de depolanmıştır (Sari ve ark. 2020).

Hava örnekleri, 250 mL'lik ACE:HEX (1:1, v/v) karışımı kullanılarak 24 saat boyunca Soxhlet ekstraksiyonuna tabi tutulmuştur. Toprak numuneleri ekstraksiyon öncesi homojenliği sağlamak amacıyla 2 mm'lik paslanmaz çelik elekten geçirilmiştir. Toprak ekstraksiyonu, 30 mL diklorometan:petrol eteri (DCM:PE, 1:1, v/v) karışımıyla doldurulan ultrasonik banyoda gerçekleştirilmiştir (Sari ve ark. 2020). PAH ve PCB bileşikleri daha sonra temizleme kolonlarında fraksiyonlanmıştır. Toplanan fraksiyonların hacmi önce yaklaşık 5 mL'ye düşürülmüş, ardından 10 mL HEX eklenerek son hacim 1 mL'ye ayarlanmıştır. Hem PAH hem de PCB ekstraktları, analitik cihaz ölçümlerine kadar −20 °C'de 1 mL'lik vial şişelerde muhafaza edilmiştir (Sari ve ark. 2021).

PAH analizleri, bir Agilent 7890A gaz kromatografisi (GC) ile kütle seçici dedektör (Agilent 5975C inert MSD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PCB analizleri ise mikro elektron yakalama dedektörlü (µECD) bir Agilent 7890A GC sistemi ile yapılmıştır. Bu çalışmada toplam 16 PAH bileşiği analiz edilmiştir: naftalin (Nap), asenafetilen (Ace), asenaften (Acy), floren (Fluo), fenantren (Phe), antrasen (Ant), fluoranten (Flt), piren (Pyr), benz(a)antrasen (BaA), krizen (Chr), benzo(b)floranten (BbF), benzo(k)floranten (BkF), benzo(a)piren (BaP), indeno(1,2,3-cd)piren (IcdP), dibenzo(a,h)antrasen (DahA) ve benzo(g,h,i)perilen (BghiP). Ayrıca 38 PCB konjeneri analiz edilmiştir: PCB #4, 8, 16/18, 26, 33, 41, 45/48/53, 64, 56/71, 66, 77, 84, 91, 97, 95, 100/87, 110/101, 114, 105/131, 119/153, 135, 170, 172, 174, 180, 194, 200, 202, 206 ve 207.

2.4. KOK'ların Hava-Toprak Arakesit Değişimi ve Gaz-Faz Akıları

Hava–toprak arakesit değişim değerleri ve gaz fazındaki KOK bileşiklerinin iki ortam arasındaki net akış yönünü belirlemek amacıyla hesaplanmıştır. Bu kapsamda, atmosferdeki (f_a)

ve topraktaki (f_s) arakesit değişim değerleri sırasıyla Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılarak elde edilmiştir (Bozlaker ve ark. 2008; Pokhrel ve ark. 2018). Bu hesaplamalar, KOK'ların hava–toprak arayüzündeki denge durumunun değerlendirilmesine ve bileşiklerin atmosfere yeniden buharlaşma eğilimi mi yoksa toprağa çökelme eğilimi mi gösterdiğinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

$$f_a = C_a \times R \times T \tag{1}$$

$$f_s = \frac{C_s \times R \times T}{0,411 \times \varphi_{om} \times K_{OA}} \tag{2}$$

Bu hesaplamalarda C_a ve C_s sırasıyla havadaki ve topraktaki KOK konsantrasyonlarını (mol/m³) ifade etmektedir. R, ideal gaz sabiti olup 8,314 $J \times mol^{-1} \times K^{-1}$ değerine sahiptir; T ortam sıcaklığını (K), φ_{om} topraktaki organik madde fraksiyonunu ve K_{OA} ise oktanol–hava bölüşüm katsayısını temsil etmektedir (Pokhrel ve ark. 2018). Arakesit değişim hesaplamaları yalnızca aynı örnekleme periyodunda alınan eşleşmiş hava ve toprak örnekleri için gerçekleştirilmiştir.

Hava–toprak sistemindeki kirletici akış yönünü değerlendirmek için kullanılan arakesit değişim kesri (ff), toprak arakesit değişiminin, hava ve toprak arakesit değişimlerinin toplamına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu oran, bireysel KOK bileşiklerinin atmosfere yeniden buharlaşma eğiliminde mi yoksa toprağa doğru net çökelme eğiliminde mi olduğunu belirlemede önemli bir parametredir. Çalışmadaki tüm bileşiklere ait ff değerleri, Denklem (3) kullanılarak hesaplanmıştır (Dumanoglu ve ark. 2017; Pokhrel ve ark. 2018).

$$ff = \frac{f_s}{f_s + f_a} \tag{3}$$

ff değerinin 0,5 olması, hava ve toprak arasındaki kirletici değişiminin denge koşullarında gerçekleştiğini göstermektedir. ff > 0,5 olduğunda bileşiğin topraktan atmosfere doğru net bir buharlaşma eğilimi gösterdiği; ff < 0,5 olduğunda ise havadan toprağa doğru çökelme eğiliminin baskın olduğu kabul edilmektedir. Bireysel KOK bileşiklerine ait toprak–hava gaz fazı akıları (mol/m²×h), bu çalışma kapsamında Denklem (4) kullanılarak hesaplanmıştır (Wang ve ark. 2011b).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

$$AKI = \frac{f_a - f_s}{\frac{RT}{K_{13}} + \frac{L_3}{\frac{RT}{B_1} + \frac{H}{B_2}}} \quad (4)$$

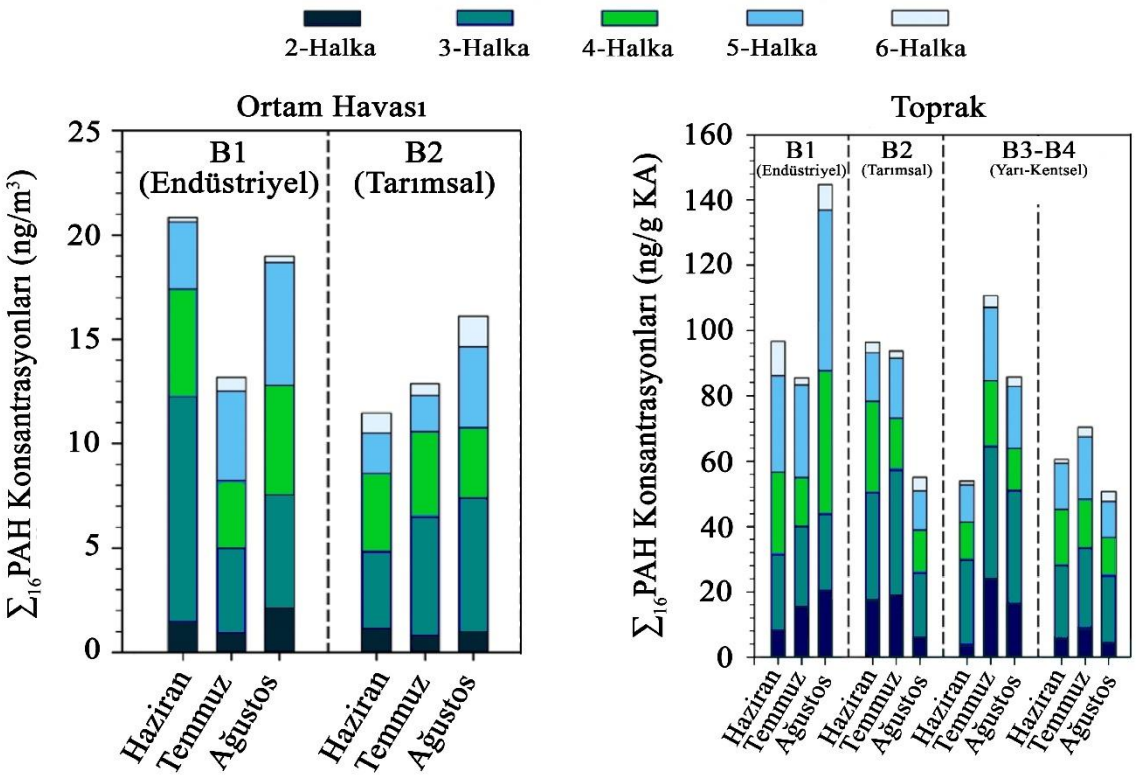
Bu hesaplamalarda K_{13}, hava–toprak ara yüzündeki kütle transfer katsayısını (3,75 m/sa); L_3 ise topraktaki efektif difüzyon yolu uzunluğunu (0,05 m) ifade etmektedir. B_1 ve B_2, sırasıyla havadaki ($1{,}79\times10^{-2}$ m²/sa) ve sudaki ($1{,}79\times10^{-6}$ m²/sa) moleküler difüzyon katsayılarıdır. H, Henry yasası sabitini (Pa×m³/mol) temsil ederken; f_a, f_s, R ve T değerleri daha önce Denklem (1) ve (2) için açıklanan parametrelerle aynıdır (Wang ve ark. 2011c; Pokhrel ve ark. 2018). Akı hesaplamalarının tamamlanmasının ardından birim dönüşümü yapılmış ve PAH'lar için sonuçlar ng/(m²×sa), PCB bileşikleri için ise pg/(m²×sa) cinsinden ifade edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE BULGULAR

3.1. Hava ve Toprak Örneklerindeki KOK Konsantrasyonları

Bu çalışmada Haziran–Ağustos 2019 döneminde Bursa'da hem dış ortam havası (2 örnekleme noktası (B1) ve (B2)) hem de yüzeysel toprak (4 örnekleme noktası) örnekleri alınarak toplam 16 PAH bileşiğinin ($\sum_{16}$PAH) konsantrasyonları belirlenmiştir. Bursa'daki dış ortam havası örneklerinde ölçülen $\sum_{16}$PAH seviyeleri B1 ve B2 noktalarında 11,37–20,78 ng/m^3 aralığında değişim göstermiştir. Tüm hava örnekleri birlikte değerlendirildiğinde ortalama $\sum_{16}$PAH konsantrasyonunun 15,52 ± 3,96 ng/m^3 (ortalama ± standart sapma) olduğu görülmüştür (Görsel 1).

B1 örnekleme noktası yoğun sanayi faaliyetlerinin bulunduğu bölgeyi, B2 ise tarımsal üretimin baskın olduğu alanı temsil etmektedir. B1 sahasında özellikle otomotiv, metal işleme ve makine üretimi gibi sektörler öne çıkmaktadır. Literatürde hem endüstriyel hem de tarımsal faaliyetlerin PAH emisyonlarının başlıca kaynakları arasında yer aldığı bilinmektedir (Barhoumi ve ark. 2020; Kumar ve ark. 2020). Bu nedenle sanayi bölgelerinde ölçülen PAH seviyelerinin, kentsel yerleşim alanlarına kıyasla yaklaşık 1,3–2 kat daha yüksek olduğu bildirilmektedir; bu durum yüksek miktarda fosil yakıt kullanımına bağlanmaktadır (Nguyen ve ark. 2020). Bursa'daki örnekleme noktalarının da (B1–B2) endüstriyel ve tarımsal aktivitelerin yoğun olduğu alanları temsil etmesi, çalışmada ölçülen PAH konsantrasyonlarının nispeten yüksek olmasını açıklamaktadır.



Görsel 1. Dış Ortam ve Toprak Örneklerindeki Toplam PAH Konsantrasyonları

Endüstriyel ve kentsel ortamlarda yüksek molekül ağırlıklı (HMW) PAH'ların (5–6 halkalı bileşikler) baskın olduğu yaygın şekilde rapor edilmiştir (López-Ayala ve ark. 2019). Bu çalışmada da benzer bir eğilim gözlenmiş; B1 sahasında 5 halkalı PAH'lar %31,95–36,80 oranlarıyla baskın bileşik grubu olarak belirlenmiştir. Bu durum B1'in sanayi bölgesini temsil etmesiyle tutarlıdır. Öte yandan B2 sahasında 3 halkalı PAH'lar %32,75–44,42 ile daha baskın bulunmuştur. Hafif molekül ağırlıklı (LMW) PAH'ların (2–3 halkalı) başlıca kaynaklarının petrojenik süreçler, trafik kaynaklı fosil yakıt emisyonları ve düşük sıcaklıkta gerçekleşen yanma olayları olduğu bilinmektedir (Wang ve ark. 2011a; Na ve ark. 2020). Dolayısıyla B2 noktasında LMW PAH'ların baskın olması bu kaynaklarla uyumludur.

Diğer ülkelerde yapılan benzer çalışmalar da yaz mevsiminde LMW PAH baskınlığının yaygın olduğunu göstermektedir. Örneğin Thang ve ark. (2020), Güney Kore'de yaz sezonunda $\sum_{13}$PAH konsantrasyonlarının 2,6–49,9 ng/m^3 arasında değiştiğini ve LMW PAH'ların hâkim olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde Álvarez ve ark. (2016), Santiago de Cali'de (Kolombiya) dört farklı alanda $\sum_{16}$PAH seviyelerinin 25–66 ng/m^3 aralığında olduğunu ve bu çalışmada da LMW bileşiklerin baskın olduğunu raporlamıştır. Nijerya'da Alani ve ark. (2021) tarafından

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

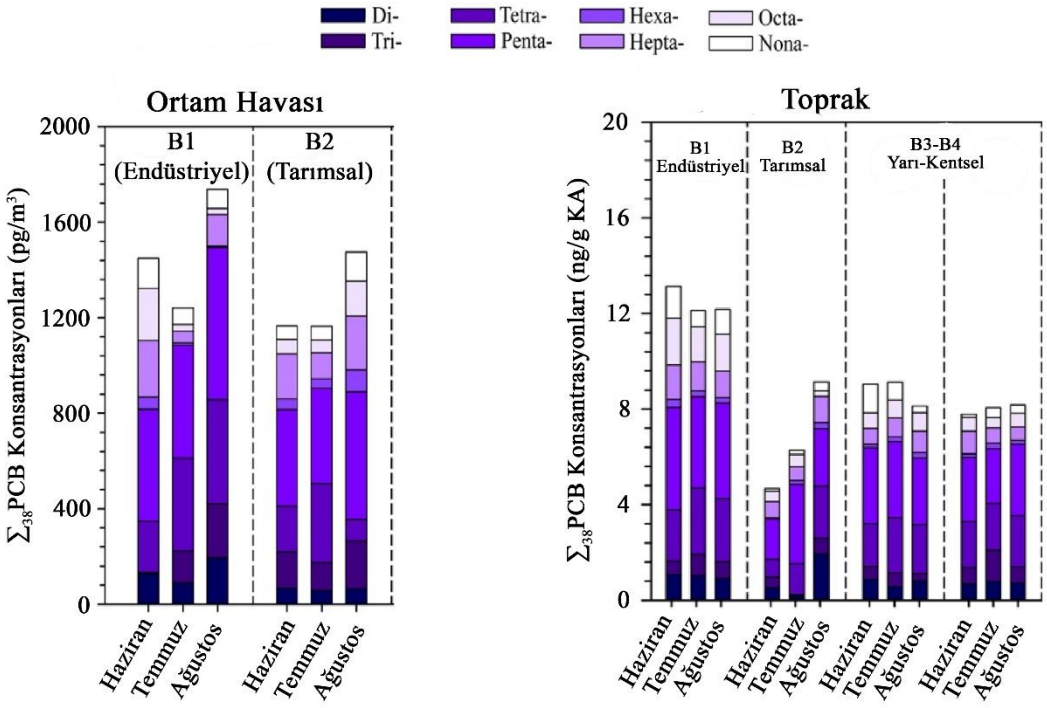
yapılan bir diğer çalışmada ise $\sum_{15}$PAH konsantrasyonlarının yerleşim alanlarında 29 ng/m^3'ten sanayi bölgelerinde 110 ng/m^3'e kadar yükseldiği belirlenmiştir.

Bursa'daki dört örnekleme noktasından (B1–B4) alınan topraklarda ölçülen $\sum_{16}$PAH konsantrasyonları 48,16–144,64 ng/g kuru ağırlık (KA) aralığında değişmiş olup, genel ortalama değer 84,37 ± 27,71 ng/g KA olarak belirlenmiştir. En yüksek PAH seviyeleri sanayi bölgesini temsil eden B1 noktasında, en düşük seviyeler ise yarı kentsel özellikteki B4 noktasında ölçülmüştür. Yoğun tarımsal faaliyetlerin görüldüğü B2 sahası ise çalışmada ikinci en yüksek $\sum_{16}$PAH birikimini göstermiştir.

Toprak örneklerinin bileşik dağılımları incelendiğinde, B1 sahasında 5 halkalı PAH'ların baskın olduğu görülmüş ve bu bileşik grubu toplam $\sum_{16}$PAH konsantrasyonunun %30,37–34,07'sini oluşturmuştur. Diğer örnekleme noktalarında (B2, B3 ve B4) ise 3 halkalı PAH'lar hâkimdir ve toplam PAH birikiminin %34,10–48,60'ını oluşturmaktadır. Literatürde düşük molekül ağırlıklı (LMW; 2–3 halkalı) PAH'ların genellikle düşük sıcaklıkla ilişkili yanma ve petrojenik süreçlerden, yüksek molekül ağırlıklı (HMW; 5–6 halkalı) PAH'ların ise yüksek sıcaklıkta gerçekleşen yanma faaliyetlerinden (örneğin kömür veya ağır yakıt yanması) kaynaklandığı geniş şekilde rapor edilmektedir (Jia ve ark. 2021). Dolayısıyla B1 sahasında 5 halkalı PAH'ların baskın olması, bu bölgedeki yoğun endüstriyel aktivitelerin toprağa yüksek sıcaklık yanma kaynaklı PAH girişini artırdığı şeklinde değerlendirilebilir.

Bursa'daki atmosfer örneklerinde ölçülen $\sum_{38}$PCB konsantrasyonları B1 ve B2 noktalarında 1163,93–1737,45 pg/m^3 aralığında değişmiş, tüm ölçümler bir arada değerlendirildiğinde ortalama $\sum_{38}$PCB düzeyi 1371,90 ± 225,12 pg/m^3 olarak belirlenmiştir (Görsel 2). Bu konsantrasyon aralıkları, daha önce farklı bölgelerde yürütülen çalışmalarla büyük ölçüde uyum göstermektedir (Sari ve ark. 2023). Pozo ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, atmosferde yüksek PCB seviyelerinin görüldüğü yerlerde çoğunlukla yerel veya noktasal kaynakların örneğin sanayi tesisleri, kentsel faaliyetler ve atık depolama alanları baskın etkiye sahip olduğu belirtilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 2. Dış Ortam ve Toprak Örneklerindeki Toplam PCB Konsantrasyonları

Bursa'daki örnekleme noktalarına ait PCB homolog grup dağılımlarına bakıldığında, penta-klorlu PCB türlerinin baskın homolog grup olduğu görülmüş ve bu bileşikler toplam konsantrasyonların %32,39–38,06'sını oluşturmuştur. Literatürde de tetra- ve penta-CB gruplarının atmosferik örneklerde en sık rastlanan homologlar olduğu geniş şekilde rapor edilmektedir (Yeo ve ark. 2004; Sari ve ark. 2020). Bu durumun temel nedeni POP bileşiklerinin pasif hava örnekleyicilerde difüzyon temelli toplama mekanizmasıyla çoğunlukla gaz fazında birikmesidir. Ayrıca klor sayısı düşük olan PCB konjenerleri yüksek uçuculukları nedeniyle atmosferde büyük oranda gaz fazında bulunmakta ve PAS cihazları tarafından daha etkin şekilde tutulmaktadır (Sari & Esen, 2022).

Bursa'daki dört örnekleme noktasından (B1–B4) alınan yüzey topraklarında ölçülen $\sum_{38}$PCB konsantrasyonları 3,94–15,21 ng/g KA aralığında değişmiş, tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde ortalama $\sum_{38}$PCB düzeyi 9,10 ± 2,87 ng/g KA olarak hesaplanmıştır. Bursa'daki endüstriyel örnekleme noktasında (B1) ölçülen $\sum_{38}$PCB konsantrasyonları 14,13 ± 0,62 ng/g KA ile diğer örnekleme alanlarına kıyasla en yüksek düzeylerde belirlenmiştir. Bu sahada elde edilen konsantrasyon aralıkları, literatürde endüstriyel bölgelerde rapor edilen PCB seviyeleriyle büyük ölçüde uyum göstermekte olup, sanayi kaynaklı emisyonların toprakta PCB birikimi üzerindeki etkisini desteklemektedir (Nguyen ve ark. 2016; Li ve ark. 2018b). B1

örnekleme noktasında penta-klorlu PCB'lerin (penta-CB) baskın homolog grup olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, topraklardaki POP konsantrasyonlarının hem yerleşim alanlarının genişlemesi hem de endüstriyel faaliyetlerin artışıyla birlikte yükseldiği bilinmektedir (Rajan ve ark. 2021). Buna karşılık, en düşük $\sum_{38}$PCB konsantrasyonları Bursa'daki tarımsal örnekleme noktasında (B2) ölçülmüş ve ortalama değer 7,56 ± 2,69 ng/g KA olarak belirlenmiştir. Bu sahada da penta-CB'lerin baskın homolog grup olması, PCB'lerin homolog dağılımlarının farklı arazi kullanım türlerinde benzerlik gösterebildiğine işaret etmektedir. Literatürle uyumlu olarak, Sun ve ark. (2016) Çin'de yürüttükleri bir çalışmada tarımsal alanlardaki ortalama $\sum_{18}$PCB konsantrasyonlarını 20,2 ± 26,4 ng/g olarak rapor etmiş ve tarımsal alanlarda da PCB birikiminin göz ardı edilemeyecek düzeylerde olabileceğini ortaya koymuştur.

3.2. Hava-Toprak Arakesit Dağılımları ve Gaz Faz Akı Değerleri

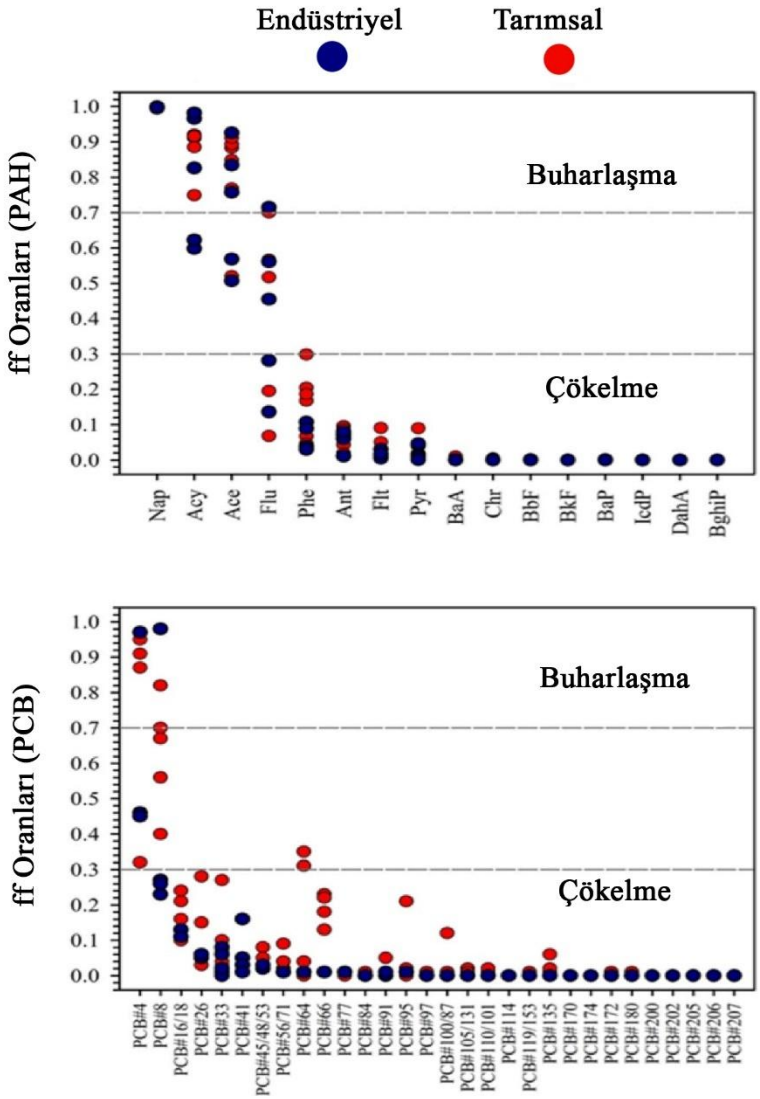
Arakesit değişim kesri (ff), hava ve toprak arasındaki kirletici değişimini değerlendirmek için kullanılır (Qu vd. 2019b). Ayrıca ff, kalıcı organik kirleticilerin (KOK'lar) hava-toprak değişimini değerlendirmek için yararlı bir yöntemdir ve çeşitli bölgelerde KOK'ların hava-toprak denge durumunu değerlendirmek için de kullanılır (Liu vd. 2011). ff hesaplamalarının sonuçları Görsel 3'te sunulmuştur. ff değerleri, moleküler ağırlık ve sıcaklık gibi fiziksel ve kimyasal özelliklere bağlı olarak değişir (Zhong ve Zhu 2013).

Genel olarak, ff değerleri tüm bireysel PAH bileşiklerinin moleküler ağırlıklarının artmasıyla azalmıştır. Düşük molekül ağırlıklı PAH'lar (Nap, Acy ve Ace) buharlaşma eğilimindeyken, orta ve yüksek molekül ağırlıklı PAH'lar çökelme eğilimindedir. Bu, toprağın atmosfer için ikincil bir kaynak görevi gördüğünü gösterir: Nap, Acy ve Ace bileşikleri (Wang vd. 2011b). Ayrıca, düşük molekül ağırlıklı PAH'lar, fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle yüksek molekül ağırlıklı PAH'lardan daha hareketlidir. Bu özellikler nedeniyle, düşük molekül ağırlıklı PAH'lar topraktan havaya buharlaşma eğilimindedir. 2 ve 3 halkalı PAH'ların düşük K_{SA} değerlerine sahip olması nedeniyle, serbest bırakıldıktan sonra topraktan havaya buharlaşırlar. Yüksek molekül ağırlıklı PAH'ların yüksek K_{SA} değerlerine sahip olması nedeniyle, toprakta birikir ve uzun süre toprak ortamında kalırlar (Hong vd. 2020). Ek olarak, bu üç bileşiğin (Nap, Acy ve Ace) ortalama ff değerleri Bursa için 0,72 ile 1,00 arasında değişmektedir.

PAH bileşiklerinde gözlenen eğilime benzer şekilde, bireysel PCB konjenerlerinin moleküler ağırlığı arttıkça ff değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Düşük klor içeriğine sahip PCB'ler (özellikle di-klorlu PCB'ler) genellikle topraktan atmosfere doğru buharlaşma eğilimi

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

gösterirken, daha yüksek klor atomu içeren PCB konjenerleri örnekleme alanlarında birikme eğilimindedir. Bu durum, Bursa'da atmosferik PCB seviyelerinin görece yüksek ölçülmesiyle de tutarlıdır. Nitekim Bursa'daki endüstriyel örnekleme alanlarında hesaplanan ff değerlerinin, tarımsal alanlara kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Endüstriyel bölgelerde atmosferik PCB konsantrasyonlarının yüksek olmasının; PCB içeren atıkların uygunsuz depolanması, endüstriyel ve belediye atıklarının yakılması ile geçmişte kirlenmiş sahalardan PCB'lerin yeniden buharlaşması gibi faktörlerle ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, atmosferik PCB konsantrasyonlarının en yüksek olduğu endüstriyel örnekleme alanlarında (Bursa) daha düşük ff değerlerinin elde edilmesi, hava–toprak değişim dinamikleri açısından beklenen ve tutarlı bir sonuç olarak değerlendirilmektedir.



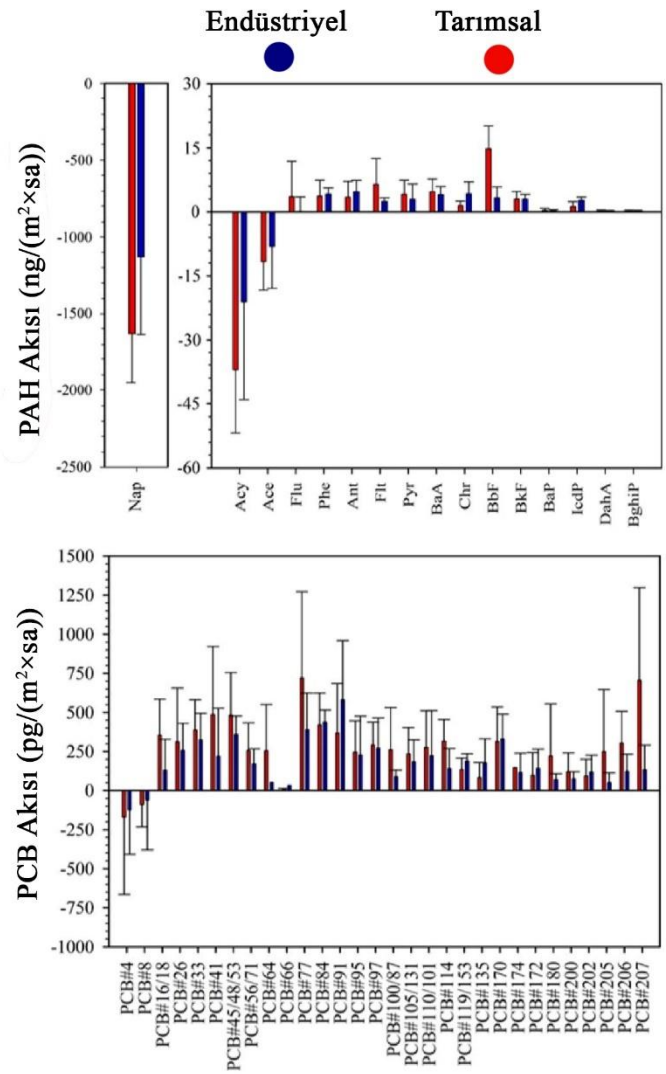
Görsel 3. PAH ve PCB Bileşikleri İçin ff Değerleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Değişim akısı, hava ve toprak ortamları arasındaki konsantrasyon farkları ile KOK'ların toplam kütle transfer hızını tanımlayan bir süreçtir (Liu ve ark. 2019). Bu çalışmada KOK'lara ait toprak–hava değişim akıları, hesaplanan f_s ve f_a değerleri kullanılarak belirlenmiş ve sonuçlar Görsel 4'te sunulmuştur. Hesaplanan akı değerlerinde negatif işaretler, kirleticilerin topraktan atmosfere doğru net bir taşınım gösterdiğini; pozitif işaretler ise havadan toprağa doğru baskın bir çökelme sürecinin gerçekleştiğini ifade etmektedir. Bursa'daki örnekleme noktalarında PAH bileşiklerine ait gaz fazı değişim akıları, sanayi bölgesini temsil eden sahada −1984,36 ile 23,93 ng/(m²×sa) aralığında, tarımsal alanı temsil eden sahada ise −1705,24 ile 9,41 ng/(m²×sa) arasında değişmiştir. Negatif akı değerlerinin baskın olması, özellikle her iki arazi kullanım türünde de PAH'ların topraktan atmosfere doğru net bir buharlaşma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bursa'daki örnekleme noktalarında PCB bileşiklerine ait gaz fazı değişim akıları, sanayi bölgesini temsil eden sahada −672,01 ile 1275,87 pg/(m²×sa) aralığında, tarımsal alanı temsil eden sahada ise −429,63 ile 998,26 pg/(m²×sa) arasında değişmiştir. Akı değerlerinin hem negatif hem de pozitif işaretler göstermesi, PCB'lerin çalışma alanlarında koşullara bağlı olarak hem topraktan atmosfere buharlaşma hem de havadan toprağa çökelme süreçlerine maruz kaldığını ortaya koymaktadır. Elde edilen gaz fazı akı sonuçları, Bursa'da daha önce yürütülen çalışmalarla (Bozlaker ve ark. 2008; Demircioğlu ve ark. 2011) ve Çin'deki uzak, kentsel ve kırsal alanlarda (Wang ve ark. 2011c) ile Nepal'de (Pokhrel ve ark. 2018) gerçekleştirilen araştırmaların bulgularıyla büyük ölçüde uyumludur. Söz konusu çalışmalar, toprağın düşük molekül ağırlıklı PAH ve PCB bileşikleri için atmosfere yönelik ikincil bir kaynak, buna karşılık yüksek molekül ağırlıklı PAH ve PCB'ler için ise bir yutak gibi davrandığını ortaya koymuştur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 4. PAH ve PCB Bileşikleri İçin Gaz Fak Akı Değerleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Bursa'da yaz döneminde (Haziran–Ağustos 2019) eş zamanlı yürütülen pasif hava örneklemesi ve yüzey toprağı örneklemesiyle PAH ve PCB bileşiklerinin iki ortam arasındaki değişim dinamiklerini bütüncül bir çerçevede değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçlar hem atmosfer hem de toprak ortamında KOK'ların ölçülebilir düzeylerde bulunduğunu, ancak bileşik sınıfları ve konjener özelliklerine bağlı olarak hava–toprak etkileşiminin yönünün farklılaştığını ortaya koymaktadır. Özellikle Bursa gibi sanayi, tarım ve yarı-kentsel arazi kullanımının kısa mesafelerde iç içe geçtiği bölgelerde, KOK'ların kaynak türleri ile meteorolojik koşulların birlikte belirlediği "dinamik denge" koşullarının hâkim olduğu görülmektedir.

Atmosferik PAH konsantrasyonlarının ($\sum_{16}$PAH) endüstriyel (B1) ve tarımsal (B2) alanlarda nispeten yüksek aralıklarda gözlenmesi, çalışma döneminin yaz olmasıyla birlikte, sıcaklığa duyarlı buharlaşma süreçlerinin ve yerel emisyonların etkisini düşündürmektedir. PAH'ların halkalı yapılarına göre dağılımı bu yorumu desteklemektedir: B1'de 5 halkalı (HMW) PAH'ların baskınlığı, yüksek sıcaklıklı yanma süreçleriyle (endüstriyel yakıt kullanımı, ağır yakıt/enerji tüketimi ve trafik kaynaklı emisyonlar gibi) uyumlu bir profil sergilerken; B2'de 3 halkalı (LMW) PAH'ların baskın olması, petrojenik girişler, düşük sıcaklıklı yanma süreçleri ve tarımsal faaliyetlere bağlı bölgesel taşınımın rol oynayabileceğini göstermektedir. Toprak örneklerinde de benzer şekilde arazi kullanımına bağlı bir ayrışma gözlenmiş; sanayi alanında HMW baskınlığı, tarımsal ve yarı-kentsel alanlarda ise 3 halkalı PAH'ların öne çıkması, toprağa giriş mekanizmalarının (atmosferik çökelme + yerel kaynaklar) yanında, toprak organik maddesi ve yüzey özelliklerinin bileşik seçiciliği üzerinde etkili olabileceğine işaret etmektedir.

PCB'lerde atmosferik $\sum_{38}$PCB düzeylerinin penta-CB homolog gruplarında yoğunlaşması, PAS sistemlerinin gaz fazındaki daha uçucu konjenerleri etkin toplaması ve düşük klorlu/penta klorlu PCB'lerin atmosferde daha yüksek payla bulunması ile tutarlıdır. Bununla birlikte, toprakta ölçülen PCB düzeylerinin endüstriyel alanda belirgin şekilde daha yüksek olması, PCB'lerin yerel kaynak kontrollü birikim eğilimine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Endüstriyel sahalarda PCB içeren atıklar, geçmiş kirlenmiş yüzeyler ve uygunsuz yakma/bertaraf uygulamaları gibi faktörlerin, atmosfere geri salım (sekonder emisyon) ve toprağa net birikim süreçlerini birlikte tetikleyebileceği bilinmektedir. Bu nedenle PCB'ler açısından çalışma alanında hem "ikincil kaynak" hem de "yutak" davranışının aynı anda görülebilmesi beklenen bir durumdur.

Genel olarak, bu çalışma Bursa örneğinde KOK'ların hava–toprak arakesitindeki değişim süreçlerinin bileşik özellikleri ve arazi kullanımı ile birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermiş; toprağın bazı bileşikler için ikincil kaynak, bazıları için ise alıcı ortam olarak davranabildiğini nicel olarak ortaya koymuştur. Bu bulgular, Türkiye'de KOK yönetimi açısından hem izleme programlarının tasarımı hem de risk temelli çevresel yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir bilimsel zemin sağlamaktadır.

TEŞEKKÜR

Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (BAP) (Proje no: FPDD -2025/2227) destekleri için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

1. Alani, R., Zhao, S., Liu, X., et al. Concentrations, profiles and exposure risks of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in passive air samples from Lagos, Nigeria, *Atmos Pollut Res*, 12, 101162, 2021.
2. Álvarez, Á.L., Pozo, K., Paéz, M.I., et al. Semivolatile organic compounds (SVOCs) in the atmosphere of Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia along north-south transect using polyurethane foam disk as passive air samplers, *Atmos Pollut Res*, 7, 945-953, 2016.
3. Aydin, Y.M., Kara, M., Dumanoglu, Y., et al. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in ambient air of an industrial region in Turkey, *Atmos Environ*, 97, 271-285, 2014.
4. Barhoumi, B., Tedetti, M., Heimbürger-Boavida, L.E., et al. Chemical composition and in vitro aryl hydrocarbon receptor-mediated activity of atmospheric particulate matter at an urban, agricultural and industrial site in North Africa (Bizerte, Tunisia), *Chemosphere*, 258, 127312, 2020.
5. Bozlaker, A., Muezzinoglu, A., Odabasi, M. Atmospheric concentrations, dry deposition and air – soil exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in an industrial region in Turkey, *J Hazard Mater*, 153, 1093-1102, 2008.
6. Demircioglu, E., Sofuoglu, A., Odabasi, M. Particle-phase dry deposition and air – soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Izmir, Turkey, *J Hazard Mater*, 186, 328-335, 2011.
7. Deng, Y., Xu, W., Zeng, Q., et al. Effects of temperature and relative humidity on soil−air partition coefficients of organophosphate flame retardants and polybrominated diphenyl ethers, *Chemosphere*, 291, 132716, 2021.
8. Dumanoglu, Y., Gaga, E.O., Gungormus, E., et al. Spatial and seasonal variations, sources, air-soil exchange, and carcinogenic risk assessment for PAHs and PCBs in air and soil of Kutahya, Turkey, the province of thermal power plants, *Sci Total Environ*, 580, 920, 2017.
9. Esen, F., Tasdemir, Y., Bozkurt, Y.M. Assessments of seasonal trend, gas–particle partitioning and deposition flux of polycyclic aromatic hydrocarbons at a semi-rural site, *J Environ Sci Heal - Part A Toxic/Hazardous Subst Environ Eng*, 54, 572-581, 2019.

10. Gu, L., Zhu, T., Chen, M. Modeling polyurethane foam (PUF)-air partition coefficients for persistent organic pollutants using linear and non-linear chemometric methods, *J Environ Chem Eng*, 9, 105615, 2021.
11. Herkert, N.J., Martinez, A., Hornbuckle, K.C. A model using local weather data to determine the effective sampling volume for PCB congeners collected on passive air samplers, *Environmental Science and Technology*, 50, 6690-6697, 2016.
12. Hong, W.J., Li, Y.F., Li, W.L., et al. Soil concentrations and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in five Asian countries, *Sci Total Environ*, 711, 135223, 2020.
13. Jia, T., Guo, W., Xing, Y., et al. Spatial distributions and sources of PAHs in soil in chemical industry parks in the Yangtze River Delta, China, *Environ Pollut*, 283, 117121, 2021.
14. Kumar, A., Sankar, T.K., Sethi, S.S., Ambade, B. Characteristics, toxicity, source identification and seasonal variation of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons over East India, *Environ Sci Pollut Res*, 27, 678-690, 2020.
15. Li, Q., Lu, Y., Wang, P., et al. Distribution, source, and risk of organochlorine pesticides (OCPs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in urban and rural soils around the Yellow and Bohai Seas, China, *Environ Pollut*, 239, 233-241, 2018b.
16. Li, Y.F., Harner, T., Liu, L., et al. Polychlorinated biphenyls in global air and surface soil: distributions, air?soil exchange, and fractionation effect, *Environ Sci Technol*, 44, 2784-2790, 2010.
17. Liu, G., Yu, L., Li, J., et al. PAHs in soils and estimated air-soil exchange in the Pearl River Delta, South China, *Environ Monit Assess*, 173, 861-870, 2011.
18. Liu, Y., Xie, S., Zheng, L., et al. Air-soil diffusive exchange of PAHs in an urban park of Shanghai based on polyethylene passive sampling: vertical distribution, vegetation influence and diffusive flux, *Sci Total Environ*, 689, 734-742, 2019.
19. Na, G., Gao, Y., Li, R., et al. Occurrence and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in atmosphere and soil from 2013 to 2019 in the Fildes Peninsula, Antarctica, *Mar Pollut Bull*, 156, 111173, 2020.
20. Nguyen, T.N.T., Kwon, H.O., Lammel, G., et al. Spatially highresolved monitoring and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrial city, *J Hazard Mater*, 393, 122409, 2020.
21. Nguyen, T.N.T., Kwon, H.O., Lee, Y.S., et al. Spatial distribution and source identification of indicator polychlorinated biphenyls in soil collected from the coastal

multi-industrial city of Ulsan, South Korea for three consecutive years, *Chemosphere*, 163, 184-191, 2016.

22. Park, E.Y., Park, E., Kim, J., et al. Impact of environmental exposure to persistent organic pollutants on lung cancer risk, *Environ Int*, 143, 105925, 2020.
23. Pokhrel, B., Gong, P., Wang, X., et al. Distribution, sources, and air–soil exchange of OCPs, PCBs and PAHs in urban soils of Nepal, *Chemosphere*, 200, 532-541, 2018.
24. Pozo, K., Harner, T., Lee, S.C., et al. Assessing seasonal and spatial trends of persistent organic pollutants (POPs) in Indian agricultural regions using PUF disk passive air samplers, *Environ Pollut*, 159, 646-653, 2011.
25. Qu, C., Albanese, S., Li, J., et al. Organochlorine pesticides in the soils from Benevento provincial territory, southern Italy: spatial distribution, air-soil exchange, and implications for environmental health, *Sci Total Environ*, 674, 159-170, 2019a.
26. Qu, C., Albanese, S., Lima, A., et al. The occurrence of OCPs, PCBs, and PAHs in the soil, air, and bulk deposition of the Naples metropolitan area, southern Italy: ımplications for sources and environmental processes, *Environ Int*, 124, 89-97, 2019b.
27. Rajan, S., Rex, K.R., Pasupuleti, M., et al. Soil concentrations, compositional profiles, sources and bioavailability of polychlorinated dibenzo dioxins/furans, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in open municipal dumpsites of Chennai city, India, *Waste Manag*, 131, 331-340, 2021.
28. Riaz, R., Malik, R.N., de Wit, C.A. Soil-air partitioning of semivolatile organic compounds in the Lesser Himalaya region: ınfluence of soil organic matter, atmospheric transport processes and secondary emissions, *Environ Pollut*, 291, 118006, 2021.
29. Sari, M.F., Córdova Del Águila, D.A., Tasdemir, Y., Esen, F. Atmospheric concentration, source identification, and health risk assessment of persistent organic pollutants (POPs) in two countries: Peru and Turkey, *Environ Monit Assess*, 192, 1-16, 2020.
30. Sari, M.F., Esen, F. Atmospheric concentration, spatial variations, and source identification of persistent organic pollutants in urban and semi-urban areas using passive air samplers in Bursa, Turkey, *Environ Sci Pollut Res*, 29, 32082-32092, 2022.
31. Sari, M.F., Esen, F., Cetin, B. Concentration levels, spatial variations and exchanges of polychlorinated biphenyls (PCBs) in ambient air, surface water and sediment in Bursa, Türkiye, *Sci Total Environ*, 880, 163224, 2023.

32. Sari, M.F., Esen, F., Tasdemir, Y. Characterization, source apportionment, air/plant partitioning and cancer risk assessment of atmospheric PAHs measured with tree components and passive air sampler, *Environ Res*, 194, 110508, 2021.
33. Sun, J., Pan, L., Tsang, D.C.W., et al. Polychlorinated biphenyls in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China: regional contamination characteristics, combined ecological effects and human health risks, *Chemosphere*, 163, 422-428, 2016.
34. Thang, P.Q., Kim, S.J., Lee, S.J., et al. Monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons using passive air samplers in Seoul, South Korea: spatial distribution, seasonal variation, and source identification, *Atmos Environ*, 229, 117460, 2020.
35. Wang, N., Lang, Y., Cheng, F., Wang, M. Concentrations, sources and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of Liaohe estuarine wetland, *Bull Environ Contam Toxicol*, 87, 463-468, 2011a.
36. Wang, W., Simonich, S., Giri, B., et al. Atmospheric concentrations and air-soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in remote, rural village and urban areas of Beijing-Tianjin region, North China, *Sci Total Environ*, 409, 2942-2950, 2011b.
37. Wang, W., Simonich, S., Giri, B., et al. Atmospheric concentrations and air – soil gas exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in remote, rural village and urban areas of Beijing – Tianjin, *Sci Total Environ*, 409, 2942-2950, 2011c.
38. Wang, Y., Bao, M., Zhang, Y., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere and soils of Dalian, China: source, urbanrural gradient, and air-soil exchange, *Chemosphere*, 244, 125518, 2020.
39. Wang, Y., Luo, C., Wang, S., et al. Assessment of the air–soil partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in a paddy field using a modified fugacity sampler, *Environ Sci Technol*, 49, 1, 284-291, 2015.
40. Wu, X., Chen, A., Wang, S., et al. Polychlorinated biphenyls in two typical landforms of Southern Anhui province, China: sources, air-soil exchange, and risk assessment, *Atmos Pollut Res*, 9, 569, 2018.
41. Yeo, H.G., Choi, M., Chun, M.Y., et al. Concentration characteristics of atmospheric PCBs for urban and rural area, Korea, *Sci Total Environ*, 324, 261-270, 2004.
42. Zhong, Y., Zhu, L. Distribution, input pathway and soil-air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China, *Sci Total Environ*, 444, 177-182, 2013.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

WEB TABANLI DİJİTAL DAYANIŞMA PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ, ANALİZİ VE TASARIMI: AFET YARDIMLAŞMA PLATFORMU

Emirhan YILDIZ

İstanbul Arel Üniversitesi,

emirhanyildiz231@istanbularel.edu.tr - 0009-0002-0094-8240

Öğr. Gör. Aslıhan KARATAŞ

İstanbul Beykent Üniversitesi,

aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

Yusuf Mehmet Can KARATAŞ

Bursa Uludağ Üniversitesi,

mehmetcankrts00@gmail.com - 0009-0002-2700-3677

ÖZET

Doğal afetler, toplumların karşılaştığı en büyük insani krizlerden biridir ve hızlı ve etkin yardım organizasyonu bu süreçte kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, afet anlarında ihtiyaç sahipleri ile yardımseverleri buluşturmayı amaçlayan, modern web teknolojileriyle geliştirilen bir platformun tasarım ve uygulama sürecini ele almaktadır. Afet Yardımlaşma Platformu, PHP tabanlı MVC mimarisi üzerine inşa edilmiş olup, kullanıcı dostu ve mobil uyumlu bir arayüz sağlamak amacıyla Tailwind CSS ve Alpine.js teknolojileri kullanılarak geliştirilmiştir. Verilerin güvenli ve esnek bir şekilde yönetilmesi için MySQL veritabanı tercih edilmiştir. Platformun tasarımında, kullanıcı gereksinimlerinin doğru belirlenmesi ve olası sorunların erken aşamada tespit edilmesi önem taşımaktadır. Bu amaçla, kök neden analizi için balık kılçığı diyagramı ve sistemin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi için SWOT analizi kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin temel bileşenleri arasındaki ilişkileri netleştirmek için akış diyagramları ve varlık ilişki diyagramları (ERD) oluşturulmuştur. Platform, kullanıcıların acil durum taleplerini oluşturmasına, kategori ve konum bazlı filtreleme yapmasına ve deprem verilerini anlık olarak takip etmesine olanak tanır. Acil durum bildirimleri ve bağış modülü, yardımların hızlı ve etkin bir şekilde organize edilmesini sağlamaktadır. Gemini yapay zeka entegrasyonu sayesinde, kullanıcıların sorularına anında yanıt verilmekte, böylece kullanıcı deneyimi ve sistem etkinliği artırılmaktadır. Yönetim paneli üzerinden yöneticiler, yardım taleplerini onaylayabilir, duyurular oluşturabilir ve sistemi kontrol edebilirler. Ayrıca, dağıtım noktalarını harita üzerinde gösterme özelliği, lojistik süreçlerin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, Afet Yardımlaşma Platformu, ihtiyaç sahipleri ve yardımseverler arasında köprü kurarak toplumsal dayanışmayı güçlendirmekte ve afetlerin yıkıcı etkilerini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Gelecekte, platformun daha da geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet Yönetimi, Dijital Dayanışma, Web Uygulaması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT, ANALYSIS AND DESIGN OF A WEB-BASED DIGITAL SOLIDARITY PLATFORM: DISASTER ASSISTANCE PLATFORM

Emirhan YILDIZ

Istanbul Arel University,

emirhanyildiz231@istanbularel.edu.tr - 0009-0002-0094-8240

Lecturer Aslıhan KARATAŞ

Istanbul Beykent University,

aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

Yusuf Mehmet Can KARATAŞ

Bursa Uludağ University,

mehmetcankrts00@gmail.com - 0009-0002-2700-3677

ABSTRACT

Natural disasters are one of the biggest humanitarian crises that societies face, and fast and effective aid organization is of critical importance in this process. This study addresses the design and implementation process of a platform developed with modern web technologies that aims to bring together those in need and benefactors in times of disaster. The Disaster Aid Platform is built on PHP-based MVC architecture and has been developed using Tailwind CSS and Alpine.js technologies to provide a user-friendly and mobile-compatible interface. MySQL database has been preferred for secure and flexible data management. In the design of the platform, it is important to correctly determine user requirements and to identify potential problems at an early stage. For this purpose, fishbone diagrams were used for root cause analysis and SWOT analysis was used to determine the strengths and weaknesses of the system. In addition, flow diagrams and entity relationship diagrams (ERD) were created to clarify the relationships between the basic components of the system. The platform allows users to create emergency requests, filter by category and location, and track earthquake data instantly. The emergency notifications and donation module ensure that aid is organized quickly and effectively. Thanks to Gemini AI integration, users' questions are answered instantly, thus increasing user experience and system efficiency. Administrators can approve requests for assistance, create announcements and control the system via the management panel. In addition, the ability to display distribution points on the map contributes to optimizing logistics processes. As a result, the Disaster Assistance Platform strengthens social solidarity by building a bridge between those in need and benefactors and plays an important role in reducing the devastating effects of disasters. In the future, the platform is aimed to be further developed.

Keywords: Disaster Management, Digital Solidarity, Web Application

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

UZAKTAN EĞİTİMDE ETKİLEŞİM VE REHBERLİK İÇİN WEB TABANLI EĞİTİM PLATFORMU GELİŞTİRİLMESİ: MENTORUM

Ahmet Ege SANDAL
İstanbul Arel Üniversitesi,
ahmetegesandal94@gmail.com - 0009-0002-9309-0246

Sena AĞAÇYETİŞTİREN
İstanbul Arel Üniversitesi,
senaagacyetistiren@gmail.com- 0009-0001-9420-2521

Niyazi Emir AKDEMİR
İstanbul Arel Üniversitesi,
akdemirniyaziemir@gmail.com - 0009-0001-2122-2994

Muhammed Ufuk ASLAN
İstanbul Arel Üniversitesi,
ufukaslan1903u@gmail.com - 0009-0009-6057-9185

Öğr. Gör. Aslıhan KARATAŞ
İstanbul Beykent Üniversitesi,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

ÖZET

Günümüzde dijital teknolojilerin hızla gelişmesiyle birlikte, eğitim alanında çevrim içi etkileşimi artıran yenilikçi çözümlere duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu çalışma, öğrencilerle eğitmenleri bir araya getirerek birebir mentorluk ve özel ders süreçlerini dijital ortama taşıyan Mentorum adlı web tabanlı platformun tasarım ve geliştirme sürecini konu almaktadır. Platform, kullanıcı dostu arayüzü ve esnek yapısıyla, öğrenci, veli ve eğitmen arasında güçlü bir iletişim ağı kurmayı hedeflemektedir. Arayüz tasarımında React.js ve Next.js teknolojileri tercih edilmiştir. Sunucu tarafında Node.js tabanlı bir yapı, veri yönetiminde ise MySQL veri tabanı kullanılmıştır. Gerçek zamanlı iletişim için Socket.io, canlı ders özelliği için ise Jitsi entegrasyonu uygulanmıştır. Proje sürecinde, kullanıcı gereksinimleri detaylı biçimde analiz edilmiş, olası sorunların erken tespiti amacıyla balık kılçığı diyagramı, sistemin güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek için ise SWOT analizi yapılmıştır. Ayrıca, sistemin bileşenleri ve veri yapısı arasındaki ilişkileri açıklamak üzere akış diyagramları ve Varlık-İlişki Diyagramı (ERD) hazırlanmıştır. Mentorum; canlı ders rezervasyonu, anlık mesajlaşma, rozet sistemi, öne çıkarma (boost) özelliği ve iki aşamalı

kimlik doğrulama (2FA) gibi fonksiyonlarla kullanıcılarına güvenli ve etkileşimli bir öğrenme deneyimi sunmaktadır. Yönetici paneli sayesinde sistemin genel işleyişi, kullanıcı yönetimi ve destek talepleri tek merkezden kontrol edilebilmektedir. Ayrıca, platformun ölçeklenebilir mimarisi, ilerleyen dönemde yapay zekâ destekli öneri sistemleri ve öğrenme analitiği gibi yeni modüllerin eklenmesine uygun bir altyapı sağlamaktadır. Sonuç olarak Mentorum, modern web teknolojileriyle geliştirilmiş, etkileşimi ve öğrenme motivasyonunu ön planda tutan bir çevrim içi mentorluk platformu olarak tasarlanmıştır. Gelecekte mobil sürüm ve gelişmiş istatistik modülleriyle sistemin kapsamının genişletilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Web Tabanlı Eğitim, Mentorluk, Gerçek Zamanlı İletişim, Eğitim Teknolojileri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF A WEB-BASED EDUCATION PLATFORM FOR INTERACTION AND GUIDANCE IN DISTANCE EDUCATION: MENTORUM

Ahmet Ege SANDAL
Istanbul Arel University,
ahmetegesandal94@gmail.com - 0009-0002-9309-0246

Sena AĞAÇYETİŞTİREN
Istanbul Arel University,
senaagacyetistiren@gmail.com - 0009-0001-9420-2521

Niyazi Emir AKDEMİR
Istanbul Arel University,
akdemirniyaziemir@gmail.com - 0009-0001-2122-2994

Muhammed Ufuk ASLAN
Istanbul Arel University,
ufukaslan1903u@gmail.com - 0009-0009-6057-9185

Lecturer Aslıhan KARATAŞ
Istanbul Beykent University,
aslihankaratas@beykent.edu.tr - 0000-0002-4567-7088

ABSTRACT

With the rapid advancement of digital technologies, the need for innovative solutions that enhance online interaction in the field of education has been increasing steadily. This study focuses on the design and development process of Mentorum, a web-based platform that brings together students and instructors, transferring one-on-one mentoring and private lesson experiences to a digital environment. The platform aims to establish a strong communication network among students, parents, and instructors through a user-friendly interface and flexible structure. React.js and Next.js technologies were used in the interface design, while a Node.js-based architecture was implemented on the server side. MySQL was preferred for data management, Socket.io for real-time communication, and Jitsi integration for the live lesson feature. Throughout the project, user requirements were thoroughly analyzed. A fishbone diagram was used to identify potential problems at early stages, and a SWOT analysis was conducted to determine the system's strengths and weaknesses. In addition, flowcharts and an Entity-Relationship Diagram (ERD) were prepared to explain the

relationships between system components and data structures. Mentorum offers users a secure and interactive learning experience through features such as live lesson reservations, instant messaging, a badge system, a boost (highlight) module, and two-factor authentication (2FA). The admin panel enables centralized control of the system's general operations, user management, and support requests. Moreover, the scalable architecture of the platform provides a solid foundation for future enhancements, including AI-powered recommendation systems and learning analytics modules. In conclusion, Mentorum has been designed as an online mentoring platform developed with modern web technologies, focusing on interactivity and learning motivation. In the future, the system is planned to be expanded with a mobile version and advanced statistical modules.

Keywords: Web-Based Education, Mentoring, Real-Time Communication, Educational Technologies

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3B BASKI PCL YAPILARININ POLİDOPAMİN KAPLAMA İLE YÜZEY ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA
Başkent Üniversitesi,
cankizdelibalta@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-3199-3709

ÖZET

Polikaprolakton (PCL) mekanik özellikleri nedeniyle kemik doku mühendisliği uygulamalarında kullanılmasına rağmen hidrofobik bir yüzeye sahip olması hücrelerin tutunmasını zorlaştırmaktadır. Polidopamin (PDA) doğal midyelerin yapışkanlık özelliğinden ilham alınarak geliştirilmesinden beri yüzeylere güçlü şekilde bağlanabilen ve hidrofilik özellik kazandırabilen bir kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada Polikaprolakton (PCL) matrisinin yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla üç boyutlu yazıcı ile üretilmiş PCL matrislere daldırma metodu ile PDA kaplaması gerçekleştirilmiştir. Kaplama solüsyonu için dopamin hidroklorür, Tris HCl tampon çözeltisi içerisinde çözülerek optimize edilmiş bir süre boyunca bekletilmiştir. PDA banyosundan alınan numuneler oda sıcaklığında kurutularak yüzey karakterizasyonu temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Temas açısındaki azalma, yüzeyin daha hidrofilik hâle geldiğini ve yüzey iyileştirmesini sağladığı bilinmektedir. Yapılan ölçümlerde PDA kaplamasının temas açısını azalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Polikaprolakton (PCL), Polidopamin (PDA), Yüzey Modifikasyonu, Hidrofiliklik

ABSTRACT

Polycaprolactone (PCL) is widely employed in bone tissue engineering applications due to its favorable mechanical properties; however, its inherently hydrophobic surface limits cell adhesion. Polydopamine (PDA), inspired by the adhesive mechanisms of mussels, has emerged as a versatile coating material capable of strongly adhering to various substrates while imparting hydrophilic properties. In the present study, PDA coating was applied to three-dimensional printed PCL matrices via a dip-coating technique to enhance their surface characteristics. For the coating solution, dopamine hydrochloride was dissolved in a Tris-HCl buffer and allowed to undergo oxidative polymerization for an optimized duration. The samples were subsequently removed from the PDA bath, air-dried at room temperature, and subjected to surface

characterization through contact angle measurements. A reduction in contact angle is recognized as an indicator of increased hydrophilicity and improved surface performance. The results demonstrated that PDA coating effectively decreased the contact angle of PCL matrices, confirming the enhancement of their surface properties.

Keywords: Polycaprolactone (PCL), Polydopamine (PDA), Surface Modification, Hydrophilicity

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EKSTRÜZYON YÖNTEMİ İLE POLİKAPROLAKTON HİDROKSİAPATİT KOMPOZİT FİLAMENT ÜRETİMİ

Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA

Başkent Üniversitesi,

cankizdelibalta@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-3199-3709

ÖZET

Bu çalışmada PCL matrisli ve HA katkılı kompozit filament geliştirilmesi amaçlanmıştır. PCL (toz) matris malzemesi olarak, HA ise katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen PCL matrisli filamentlere HA katkı oranı ağırlıkça; katkısız, %5 ve %10 olarak belirlenmiştir (100PCL, 05HAPCL, 10HAPCL). Ekstrüzyon işlemi uygulanmadan önce toz hammaddeler kurutularak harmanlanmıştır. Ekstrüzyon işleminde kovan sıcaklık değerleri (T1 ve T2), vida dönüş hızı (rpm) ve sarım hızı parametreleri optimize edilerek sürekli filament üretimi gerçekleştirilmiştir. 100PCL için elde edilen değerler: T1, 64°C; T2, 66°C, vida dönüş hızı 2-4 rpm, sarım hızı 0,3'tür. 05HAPCL ve 10HAPCL için elde edilen değerler: T1, 67°C; T2, 65°C, vida dönüş hızı 2-4 rpm, sarım hızı 0,3'tür. HA katkısı eklenmesiyle kovan sıcaklığının artırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : PCL/HA kompozit filament, ekstrüzyon kompozit filament, PCL filament

ABSTRACT

This study aimed to develop a PCL matrix and HA-added composite filament. PCL (powder) was used as the matrix material, and HA was used as the additive material. The HA additive ratio in the produced PCL matrix filaments was determined as neat, 5%, and 10% by weight (100PCL, 05HAPCL, 10HAPCL). Before the extrusion process, the powder raw materials were dried and blended. In the extrusion process, continuous filament production was achieved by optimizing the barrel temperature values (T1 and T2), screw rotation speed (rpm), and winding speed parameters. The values obtained for 100PCL were: T1, 64°C; T2, 66°C, screw rotation speed was 2-4 rpm, and winding speed was 0.3. The values obtained for 05HAPCL and 10HAPCL were: T1, 67°C; T2, 65°C, screw rotation speed was 2-4 rpm, and winding speed was 0.3. The barrel temperature was increased by adding HA additive.

Keywords : PCL/HA composite filament, extrusion composite filament, PCL filament

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MİGREN TANILI HASTALARDA HABENULAR ÇEKİRDEK HACMİ VE ASİMETRİSİNİN VOLUMETRİK ANALİZİ

Öğr. Gör. Dr. Esma GÜL
Balıkesir Üniversitesi/İvrindi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,
phd.esmagul@gmail.com - 0000-0001-6234-937X

Burcu ASLANTEKİN
Balıkesir Üniversitesi/Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı,
burcuaslantekin@gmail.com - 0000-0002-2212-8748

Doç. Dr. Nermin TEPE
Balıkesir Üniversitesi/Tıp Fakültesi Nöroloji Anabilim Dalı,
tepenermin@gmail.com - 0000-0003-4148-2539

Doç. Dr. Emrah ÖZCAN
Balıkesir Üniversitesi/Tıp Fakültesi Anatomi Anabilim Dalı,
emrahozcan@balikesir.edu.tr - 0000-0002-6373-4744

ÖZET

Migren, dünya nüfusunun yaklaşık %15'ini etkileyen, baş ağrısının yanı sıra fotofobi, fonofobi ve ozmofobi gibi geniş bir duyusal işlev bozukluğu spektrumunu içeren nörolojik bir hastalıktır. Habenula, dorsal talamusun posterior-medial kısmında, pineal kompleksin üzerinde ve üçüncü ventrikül tabanında yer alan küçük, çift taraflı bir yapıdır. Ön beyin yapıları ile beyin sapı çekirdekleri arasında bir aktarma istasyonu görevi gören habenula, ağrı işleme süreçlerinde önemli bir role sahiptir. Bu çalışma, migren tanılı hastalar ile sağlıklı bireylerde habenular çekirdek hacmi ve asimetrisinin karşılaştırılması ve bu parametrelerin yaş ile ilişkilerinin değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi'nde migren tanısı almış 51 kadın hasta (ortalama yaş: 36.00 ± 12.27) ve 51 sağlıklı kadın birey (ortalama yaş: 36.31 ± 12.41) çalışmaya dahil edilmiştir. Katılımcıların kranial manyetik rezonans (MR) görüntüleri Volbrain yazılımına yüklenerek sağ, sol ve total habenular çekirdek hacimleri ile asimetri indeksleri hesaplanmıştır. Gruplar arasındaki farklar bağımsız grup t-testi, yaş ile ilişkiler ise Pearson korelasyon testi ile değerlendirilmiştir.

Migren grubunda total ve sağ habenular çekirdek hacimleri kontrol grubuna göre anlamlı düzeyde düşük bulunmuştur ($p = 0.003$; $p = 0.018$). Sol habenula hacmi ve asimetri indeksi açısından fark saptanmamıştır ($p > 0.05$). Ayrıca, hem migren hem de kontrol grubunda habenular çekirdek hacimleri ile yaş arasında anlamlı bir korelasyon gözlenmemiştir ($p > 0.05$).

Migren hastalarında habenular çekirdek hacmindeki azalma, bu yapının ağrı işleme ve endojen analjezik sistemdeki fonksiyonel kapasitesinin azaldığını düşündürmektedir. Habenula, migren patofizyolojisinde ağrının düzenlenmesinde önemli bir nöroanatomik yapı olarak değerlendirilmeli ve gelecekteki çalışmalarda daha ayrıntılı olarak incelenmelidir.

Anahtar Kelimeler: Migren; Habenular Çekirdek; Volbrain; Morfometri

VOLUMETRIC ANALYSIS OF HABENULAR NUCLEUS VOLUME AND ASYMMETRY IN PATIENTS WITH MIGRAINE

ABSTRACT

Migraine is a neurological disorder affecting approximately 15% of the global population and is characterized not only by headache but also by a broad spectrum of sensory dysfunctions such as photophobia, phonophobia, and osmophobia. The habenula, a small bilateral structure located in the posterior-medial portion of the dorsal thalamus, above the pineal complex and adjacent to the third ventricle, acts as a relay station between forebrain structures and brainstem nuclei. Due to its anatomical position and extensive connections, it plays a critical role in pain processing. This study aimed to compare habenular nucleus volumes and asymmetry between individuals with migraine and healthy controls and to examine their correlation with age.

Fifty-one female patients diagnosed with migraine (mean age: 36.00 ± 12.27) and 51 age-matched healthy female controls (mean age: 36.31 ± 12.41) from Balıkesir University Health Practice and Research Hospital were included. Cranial magnetic resonance (MR) images were processed using the Volbrain software to calculate right, left, and total habenular nucleus volumes and asymmetry indices. Group differences were analyzed using the independent samples t-test, and correlations with age were assessed via Pearson correlation analysis.

The migraine group showed significantly reduced total and right habenular nucleus volumes compared with controls ($p = 0.003$; $p = 0.018$). No significant differences were found in left habenula volume or asymmetry index ($p > 0.05$). Additionally, no significant correlation was observed between habenular nucleus volumes and age in either the migraine or control group ($p > 0.05$).

Reduced habenular nucleus volumes in migraine patients may indicate diminished functional capacity in pain processing and endogenous analgesic systems. The habenula should be regarded as an important neuroanatomical structure in the modulation of pain in migraine and warrants further investigation in future pathophysiological studies.

Keywords: Migraine; Habenular Nucleus; Volbrain; Morphometry

1. GİRİŞ

Migren, dünya nüfusunun yaklaşık %15'ini etkileyen, tekrarlayıcı ve çoğu zaman yaşam kalitesini belirgin ölçüde azaltan nörolojik bir hastalıktır (Yang et al., 2023). Baş ağrısının yanı sıra fotofobi, fonofobi, ozmofobi, bulantı ve kutanöz allodini gibi çok sayıda duyusal işlev bozukluğu ile seyretmesi, migrenin yalnızca ağrıdan ibaret olmadığını; duyusal, duygusal ve bilişsel alanları bir arada etkileyen kompleks bir beyin ağları hastalığı olduğunu göstermektedir. Migrenin depresyon, anksiyete, epilepsi ve inme gibi ek hastalıklarla yüksek oranda komorbid seyretmesi de merkezi sinir sistemi ağlarında geniş çaplı bir disfonksiyonun varlığına işaret etmektedir (Yang et al., 2023).

Habenula, yalnızca ağrı modülasyonundaki rolüyle değil; ödül-karşıtı devreler, stres yanıtı, olumsuz duygu düzenleme ve motivasyonel süreçlerle ilişkisi nedeniyle de migrenin çok boyutlu doğası açısından dikkat çekici bir yapıdır. Migren atağı sırasında görülen kaçınma davranışları, duygudurum değişiklikleri ve aşırı duyusal hassasiyet gibi özellikler, habenulanın bilinen fonksiyonlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir.

Tüm bu bulgular, migren hastalarında habenulanın yapısal özelliklerinde de değişiklikler olabileceğini düşündürmektedir. Buna karşın, fonksiyonel bağlantı araştırmaları artmasına rağmen, habenula hacmine ve asimetrisine ilişkin yapısal morfometrik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle habenulanın yapısal özelliklerinin değerlendirilmesi, migrenin nörobiyolojik temellerinin daha iyi anlaşılmasına ve potansiyel bir yapısal biyobelirteç olarak değerlendirilebilmesine katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma, migren tanılı bireylerde habenular çekirdeğin sağ, sol ve total hacimlerinin sağlıklı bireylerle karşılaştırılmasını ve asimetri indeksinin değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Elde edilen bulguların, habenulanın migren patofizyolojisindeki potansiyel rolüne ışık tutması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Çalışma Tasarımı

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi'nde yürütülen retrospektif, kesitsel ve gözlemsel bir araştırmadır. Hastane arşivinde yer alan kranial manyetik rezonans (MR) görüntüleri ve klinik kayıtlar geriye dönük olarak değerlendirilmiştir.

2.2. Etik Onay

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu tarafından değerlendirilmiş ve 18/11/2025 tarihli, 2025/10-10 sayılı kurul kararı ile tıbbi açıdan etik olarak uygun bulunmuştur. Araştırma, Helsinki Bildirgesi'nde belirtilen etik ilkeler doğrultusunda yürütülmüştür. Veriler retrospektif olarak incelendiği için katılımcılardan ek bilgilendirilmiş onam alınmamıştır.

2.3. Çalışma Grubu

Retrospektif tarama sonucunda migren tanısı almış 51 kadın hasta (ortalama yaş: 36.00 ± 12.27) ile yaş açısından eşleştirilmiş 51 sağlıklı kadın bireye (ortalama yaş: 36.31 ± 12.41) ait T1-ağırlıklı kranial MR görüntüleri analiz edilmiştir. Migren tanısı, nöroloji uzmanı tarafından ICHD-3 kriterlerine uygun şekilde doğrulanmıştır.

2.4. Dahil edilme kriterleri

- 18 yaş ve üzeri kadın olmak,
- ICHD-3 kriterlerine uygun şekilde doğrulanmış auralı veya aurasız epizodik migren tanısına sahip olmak,
- Klinik kayıtlarda en az bir yıllık migren öyküsünün bulunması,
- Artefaktsız ve değerlendirilebilir kalitede T1-ağırlıklı MR görüntüsüne sahip olmak.

2.5. Dışlanma kriterleri

- Epilepsi, inme, demiyelinizan hastalık veya beyin tümörü öyküsü,
- Psikiyatrik hastalık tanısı,
- Ağır kafa travması öyküsü,
- MR çekimine kontrendikasyon,
- Görüntü kalitesinin değerlendirme için yetersiz olması,
- İlaç aşırı kullanımına bağlı baş ağrısı (MOH).
- Sağlıklı kontrol grubunda baş ağrısı öyküsü, düzenli ilaç kullanımı ve bilinen kronik hastalık bulunmamaktadır.

2.6. MR Görüntüleme Prosedürü

Katılımcıların kranial MR görüntüleri, Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi'nde kullanılan Philips Ingenia 1.5 Tesla (2013) MR cihazı ile elde edilmiştir. Görüntüler hastanenin PACS sisteminden anonimleştirilmiş olarak alınmış ve DICOM formatında temin edilmiştir.

MR çekimleri, sagittal düzlemde uygulanan 3 boyutlu T1-ağırlıklı multiplanar turbo spin eko (3D T1-MPTSE) sekansı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan görüntüleme parametreleri yaklaşık olarak 1×1×1 mm voxel boyutu, 1–1.1 mm kesit kalınlığı, 0 mm kesit aralığı, 7.0 ms TR, 3.4 ms TE, 256×240 mm FOV ve 256×216 matriks boyutunu içermektedir. Görüntüler, hareket artefaktı ve anatomik bütünlük açısından iki bağımsız araştırmacı tarafından değerlendirilmektedir.

2.7. Volumetrik Analiz

T1-ağırlıklı yapısal MR görüntüleri, habenular çekirdeklerin hacimsel ölçümü için VolBrain (www.volbrain.upv.es) platformunda analiz edilmiştir. VolBrain, yüksek çözünürlüklü T1-ağırlıklı görüntülerden sağ ve sol habenulanın otomatik segmentasyonunu sağlayarak her bir çekirdeğin hacmini milimetreküp (mm^3) cinsinden hesaplamaktadır. Çalışmada tüm

katılımcılar için sağ, sol ve total habenula hacimleri elde edilmiş; ayrıca sağ-sol hacim farklılıklarını değerlendirmek amacıyla asimetri indeksi hesaplanmıştır. Bu hacimsel ölçümler, migren ve kontrol grupları arasındaki yapısal farklılıkları incelemek üzere istatistiksel analizlerde kullanılmıştır.

2.8. İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesinde tüm değişkenler için normallik varsayımı, Kolmogorov–Smirnov testi ve grafiksel incelemeler ile değerlendirilmiştir. Normallik varsayımı sağlanan veriler parametrik yöntemlerle analiz edilmiştir.

Migren ve sağlıklı kontrol grupları arasındaki sağ, sol ve total habenula hacimleri ile asimetri indeksi değerlerini karşılaştırmak için bağımsız grup t-testi uygulanmıştır.

Yaşın habenula hacimleri ve asimetri indeksi ile olan ilişkisini değerlendirmek için migren ve kontrol gruplarında ayrı ayrı Pearson korelasyon analizi yapılmıştır.

İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir. Veriler ortalama ± standart sapma (SD) şeklinde raporlanmıştır.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Hastanesi arşivinde bulunan T1-ağırlıklı kraniyal manyetik rezonans (MR) görüntüleri retrospektif olarak incelenmiştir. Çalışma yalnızca kadın bireyleri kapsamaktadır. Toplam 102 kadın katılımcının görüntüleri değerlendirilmiş olup bunların 51'i migren tanılı hasta grubunu, 51'i ise sağlıklı kontrol grubunu oluşturmuştur.

Çalışma gruplarının yaş ortalamaları ve standart sapma değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Çalışma gruplarının yaş ortalamaları ve standart sapma değerleri.

ÇALIŞMA GRUPLARI	YAŞ		
	En Küçük	**En Büyük**	**Ort. ± SS**
MİGREN	18	64	36.00 ± 12.28
Kontrol	18	66	36.31 ± 12.42

Ort.: Ortalama, **SS:** Standart Sapma

Verilerin dağılım özellikleri Kolmogorov–Smirnov testi ile değerlendirilmiştir. Test sonuçlarına göre $p>0.05$ olan değişkenlerin normal dağılım varsayımını karşıladığı kabul edilmiştir. İlgili normallik sonuçları Çizelge 2'de sunulmuştur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 2. Kolmogorov-Smirnov testi sonuçları.

Değişkenler	**Gruplar**	**p**
Yaş	*Migren*	0,02
	Kontrol	0,02
Habenula Total (cm^3)	*Migren*	0,00
	Kontrol	0,00
Habenula Sağ (cm^3)	*Migren*	0,00
	Kontrol	0,00
Habenula Sol (cm^3)	*Migren*	0,00
	Kontrol	0,00
Habenula Asimetri (%)	*Migren*	**0,41**
	Kontrol	0,02

Cm^3: Santimetre Küp, **p:** Anlamlılık

Çizelge 2'de asimetri indeksi için yapılan Kolmogorov–Smirnov testi, dağılımın normal olmadığını göstermiştir. Ancak bu değişkene ait skewness ve kurtosis değerlerinin ±3 aralığında bulunması, dağılımın aşırı sapma göstermediğini ve normal dağılım varsayımının kabul edilebilir düzeyde karşılandığını düşündürmektedir (Hair et al., 2019; Kline, 2015; DeCarlo, 1997). Bu nedenle, asimetri indeksi için sonraki istatistiksel analizlerde parametrik yöntemlerin kullanılmasına karar verilmiştir.

Bu değerlendirmeler doğrultusunda, yaş ve diğer değişkenlerin grup ortalamalarını karşılaştırmak için parametrik bir yöntem olan bağımsız grup t-testi uygulanmıştır. İlgili t-testi sonuçları Çizelge 3'te sunulmuştur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 3. Bağımsız Grup T-Testi sonuçları.

Değişkenler	**Gruplar**	**Ortalamalar**	**p**
Yaş	*Migren*	36,00	0,90
	Kontrol	36,31	
Habenula Total (cm^3)	*Migren*	0,038	**0,00**
	Kontrol	0,042	
Habenula Sağ (cm^3)	*Migren*	0,018	**0,02**
	Kontrol	0,021	
Habenula Sol (cm^3)	*Migren*	0,020	0,47
	Kontrol	0,021	
Habenula Asimetri (%)	*Migren*	-8,95	0,11
	Kontrol	-0,37	

Cm^3: Santimetre Küp, **p:** Anlamlılık

Migren ve sağlıklı kontrol grupları arasında yaş ortalamaları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (p = 0.90). Total habenula hacmi migren grubunda kontrol grubuna kıyasla daha düşük bulunmuş ve bu fark istatistiksel olarak anlamlıdır (p = 0.00). Sağ habenula hacmi de migren grubunda kontrol grubuna göre daha düşük olup gruplar arasındaki fark anlamlıdır (p = 0.02). Sol habenula hacmi açısından migren ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır (p = 0.47). Habenula asimetri indeksi bakımından iki grup arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (p = 0.11).

Yaş ile diğer değişkenler arasındaki ilişkiler, parametrik bir yöntem olan Pearson korelasyon analizi kullanılarak değerlendirilmiş olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4. Pearson Korelasyon Testi sonuçları.

Değişkenler	**Yaş**	
	r	**p**
Habenula Total (cm^3)	0,03	0,77
Habenula Sağ (cm^3)	0,08	0,43
Habenula Sol (cm^3)	0,01	0,95
Habenula Asimetri (%)	-0,02	0,84

Cm^3: Santimetre Küp, **p:** Anlamlılık, **r:** Pearson Korelasyon Katsayısı

Yaş ile habenula hacim ölçümleri ve asimetri indeksi arasındaki ilişkiler Pearson korelasyon analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda yaş ile total habenula hacmi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır ($r = 0.03$, $p = 0.77$). Benzer şekilde, yaş ile sağ habenula hacmi ($r = 0.08$, $p = 0.43$), sol habenula hacmi ($r = 0.01$, $p = 0.95$) ve habenula asimetri indeksi ($r = –0.02$, $p = 0.84$) arasında da istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmamıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, migren tanılı kadın hastalar ile sağlıklı kontrol grubu arasında habenular çekirdek hacimleri ve asimetri indeksi karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda migren grubunda total ve sağ habenula hacimlerinin kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha düşük olduğu saptanmıştır. Sol habenula hacmi ve asimetri indeksi açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Ayrıca yaş ile habenula hacimleri ve asimetri indeksi arasında her iki grupta da anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Elde edilen bu bulgular, migren hastalarında habenulanın yapısal özelliklerine ilişkin farklılıkların varlığını ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada migren tanılı kadın hastalar ile sağlıklı kontrol grubu arasında habenular çekirdeğin volumetrik özellikleri karşılaştırılmış ve migren grubunda total ve sağ habenula hacimlerinin anlamlı düzeyde daha düşük olduğu gösterilmiştir. Gruplar arasında yaş ortalamaları açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmaması, elde edilen volumetrik farklılıkların yaş etkisinden bağımsız olarak değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu durum, çalışmanın metodolojik gücünü artıran önemli bir bulgu olarak değerlendirilmektedir.

Habenula; limbik sistem, bazal gangliyonlar ve beyin sapı ağları ile geniş bağlantılara sahip olup, özellikle aversif uyaranların değerlendirilmesi, stres yanıtı, ödül-karşıtı süreçler ve ağrı modülasyonu gibi işlevlerde kritik rol oynayan bir yapıdır (Hikosaka, 2010; Ables et al., 2023). Son yıllarda yapılan deneysel ve klinik çalışmalar, habenulanın kronik ağrı durumları ve duygu-durum bozukluklarıyla yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, migren grubunda saptanan total habenula hacmindeki azalma, migrenin yalnızca periferik trigeminovasküler mekanizmalarla açıklanamayacağını; merkezi ağrı işleme ve modülasyon sistemlerinin de patofizyolojiye dahil olduğunu düşündürmektedir.

Çalışmamızda özellikle sağ habenula hacminde belirgin bir küçülme saptanması, migrenle ilişkili yapısal değişikliklerin olası bir lateralizasyon paterni gösterebileceğine işaret etmektedir. Literatürde habenulanın sağ ve sol taraflarının fonksiyonel olarak kısmen farklı roller üstlenebileceği bildirilmiştir. Sağ habenulanın, aversif uyaranların duygusal değerlendirilmesi ve ağrıya ilişkin negatif beklenti süreçlerinde daha baskın rol oynayabileceği öne sürülmektedir (Shelton et al., 2012). Bu durum, migren hastalarında özellikle sağ habenulada gözlenen hacim azalmasının, ağrının duygusal ve bilişsel bileşenleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Migren bağlamında yapılan fonksiyonel nörogörüntüleme çalışmaları, habenulanın salience ağı, limbik sistem ve beyin sapı ağrı modülasyon merkezleri ile olan bağlantılarında değişiklikler olduğunu ortaya koymuştur. Dai ve arkadaşları (2021), kronik migren ve ilaç aşırı

kullanımına bağlı baş ağrısı olan hastalarda habenula ile salience ağı arasındaki fonksiyonel bağlantının arttığını bildirmiştir. Bu tür fonksiyonel bağlantı değişiklikleri, çalışmamızda gözlenen yapısal hacim azalması ile birlikte değerlendirildiğinde, migrenin habenula merkezli ağ yeniden yapılanmaları ile ilişkili olabileceğini desteklemektedir.

Buna karşın, sol habenula hacmi açısından migren ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu sonuç, migrenin habenulanın her iki tarafını eşit biçimde etkilemediğini ve yapısal değişikliklerin seçici olabileceğini düşündürmektedir. Benzer şekilde, çalışmamızda habenula asimetri indeksi bakımından gruplar arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu durum, migrenin bu örneklemde belirgin bir asimetri paterni oluşturmadığını göstermektedir. Ancak habenula gibi küçük hacimli yapılarda asimetri ölçümlerinin segmentasyon yöntemlerine ve görüntüleme çözünürlüğüne duyarlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır (Lawson et al., 2013).

Yaş ile habenula hacimleri ve asimetri indeksi arasında anlamlı bir korelasyon saptanmamış olması, bu çalışmada gözlenen yapısal farklılıkların yaşa bağlı fizyolojik değişimlerden ziyade migrenle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, çalışmanın yalnızca kadın katılımcılardan oluşması, bulguların genellenebilirliğini sınırlamakla birlikte, migrenin kadınlarda daha sık görülmesi nedeniyle cinsiyete bağlı biyolojik değişkenliğin azaltılması açısından metodolojik bir avantaj da sağlamaktadır.

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Retrospektif tasarım, klinik değişkenlerin (hastalık süresi, atak sıklığı, ağrı şiddeti, aura durumu ve kullanılan profilaktik tedaviler) volumetrik ölçümlerle ilişkilendirilmesini kısıtlamıştır. Ayrıca, T1-ağırlıklı görüntülerden otomatik segmentasyon yöntemleri kullanılması, habenula gibi küçük yapılarda ölçüm hatası riskini artırabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda daha büyük örneklemler, prospektif tasarım, yüksek manyetik alan gücü (3T veya 7T) ve multimodal görüntüleme yaklaşımlarının kullanılması önerilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada migren tanılı kadın hastalarda özellikle total ve sağ habenula hacminde azalma olduğu gösterilmiştir. Elde edilen bulgular, habenulanın migren patofizyolojisinde merkezi ağrı modülasyonu ve aversif değerlendirme süreçleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmekte ve bu yapının migren araştırmalarında potansiyel bir nörogörüntüleme biyobelirteci olarak ele alınabileceğini desteklemektedir.

KAYNAKÇA

Ables, J. L., Park, K., & Ibañez-Tallón, I. Understanding the habenula: A major node in circuits regulating emotion and motivation. Pharmacological Research, 190, 106734, 2023.

Browne, C. A., Hammack, R., & Lucki, I. Dysregulation of the lateral habenula in major depressive disorder. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 12, 79, 2018.

Dai, W., Qiu, E., Chen, Y., Xing, X., Xi, W., Zhang, M., Li, K., Tian, L., Dong, Z., & Yu, S. Enhanced functional connectivity between habenula and salience network in medication-overuse headache complicating chronic migraine. The Journal of Headache and Pain, 22, 107, 2021.

DeCarlo, L. T. On the meaning and use of kurtosis. Psychological Methods, 2(3), 292–307, 1997.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. Multivariate data analysis (8th ed.). Cengage Learning, 2019.

Hikosaka, O. The habenula: From stress evasion to value-based decision-making. Nature Reviews Neuroscience, 11(7), 503–513, 2010.

Kline, R. B. Principles and practice of structural equation modeling (4th ed.). Guilford Press, 2015.

Lawson, R. P., Drevets, W. C., & Roiser, J. P. Defining the habenula in human neuroimaging studies. NeuroImage, 64, 722–727, 2013.

Lawson, R. P., Drevets, W. C., & Roiser, J. P. The habenula encodes negative motivational value associated with outcomes. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(9), 3318–3323, 2014.

Matsumoto, M., & Hikosaka, O. Lateral habenula as a source of negative reward signals in dopamine neurons. Nature, 447(7148), 1111–1115, 2007.

Shelton, L., Pendse, G., Maleki, N., Moulton, E. A., Lebel, A., Becerra, L., & Borsook, D. Mapping pain activation and connectivity of the human habenula. Journal of Neurophysiology, 107(10), 2633–2648, 2012.

Tu, Y., Fu, Z., Mao, C., Falahpour, M., Gollub, R. L., Park, J., & Kong, J. Abnormal thalamocortical network dynamics in migraine. Neurology, 92(21), e2454–e2466, 2019.

Yang, C., Gong, Z., Zhang, X., Li, Z., & Yu, S. Neuropeptide Y in the medial habenula alleviates migraine-like behaviors through the Y1 receptor. The Journal of Headache and Pain, 24, 61, 2023.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DROUGHT MONITORING AT MARDİN STATION USING AGGREGATE DROUGHT INDEX UTILIZING NASA POWER DATA

Assoc. Prof. Dr. Emre TOPÇU

Kafkas University, Civil Engineering Department,

emretopcu01@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-0728-7035

Asst. Prof. Dr. Fatih KARAÇOR

Kafkas University, Civil Engineering Department,

fatihkaracor@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-1201-7857

ABSTRACT

This study aims to do drought analysis at the Mardin station employing six distinct meteorological parameters through the use of the Aggregate Drought Index (ADI). The study's input parameters, including all-sky surface shortwave downward irradiance, temperature at 2 meters, specific humidity at 2 meters, average precipitation, wind speed at 2 meters, and surface soil moisture (from the surface to 5 cm below), were sourced from the NASA POWER data access viewer application for the period of 1984-2024. Mardin, situated in a semi-arid zone of Southeastern Türkiye, demonstrates significant seasonal variations in precipitation, rendering it essential for drought surveillance and water resource management. The classification results demonstrate that the region undergoes significant aridity in the summer season. The months of June, July, and August typically categorize as "medium dry" or "severe dry," indicative of the combined effects of elevated temperatures, heightened evapotranspiration, and the sparse rainfall characteristic of Mardin's continental-semi-arid climate. The transitional months, especially March, April, and May, indicate a gradual transition from reasonably humid winter conditions to the arid summer cycle. The evidence also indicates that variations in dryness categories over these periods may signify short-term weather anomalies that exacerbate water stress, despite the lack of long-term drying trends. The spatial coordinates (37.31°N, 40.73°E) verify the station’s position inside a climatic zone marked by minimal yearly precipitation and elevated evaporative demand, underscoring the necessity of incorporating drought index assessments into regional water management policies. This study highlights the pronounced seasonal drought cycle in Mardin, characterized by rainy winters transitioning swiftly into intense summer aridity. These findings offer critical insights for policymakers, agricultural planners, and hydrological managers seeking to enhance drought preparedness, refine irrigation scheduling, and alleviate the effects of seasonal water scarcity in the region.

Key Words: Aggragate Drought Index, Drought analysis, Mardin.

1. INTRODUCTION

Drought, one of the most catastrophic natural disasters globally, impacts ecosystems, agricultural productivity, water resources, and socioeconomic systems both directly and indirectly (Wilhite & Glantz, 1985). The frequency and severity of droughts are increasing alongside climate change, posing considerable threats to sustainable resource management, especially in water-scarce regions (IPCC, 2021). Recognizing drought requires a comprehensive method that evaluates multiple climate variables instead of relying exclusively on hydrological or meteorological data (Mishra & Singh, 2010).

Due to its intricate topography and unpredictable climate, Türkiye, a Mediterranean country, is among the most vulnerable to drought. Mardin city, is a vital research area for assessing drought risks due to its increasing population density, diverse agricultural activities, and predominance of water-dependent economic sectors. Analyzing the region's long-term meteorological data yields two advantages: identifying future threats and revealing previous drought trends.

The Aggregate Drought Index (ADI) is a comprehensive drought metric that amalgamates many drought kinds (meteorological, agricultural, and hydrological) into a singular composite indicator for a more thorough evaluation. Conventional univariate indices, typically reliant on restricted characteristics like precipitation, evapotranspiration, or soil moisture, may inadequately capture the multifaceted essence of drought. ADI, conversely, integrates various climate factors through statistical or multi-criteria decision-making methodologies to more precisely elucidate both regional and temporal variations. In this context, ADI has emerged as a vital instrument for drought monitoring, early warning systems, and water resource management, offering a thorough and dependable framework for evaluating extreme occurrences, especially those intensified by climate change.

This analysis utilized the Mardin observational point, which supplied six meteorological parameters (temperature, specific humidity, precipitation, wind speed, soil moisture, and solar radiation) from the NASA POWER database for the years 1984 to 2025. The Aggregate Drought Index approach was employed to examine the data. The findings provide a scientific basis for the sustainable management of water resources and agricultural planning, together with an enhanced understanding of the temporal and spatial dimensions of drought trends in the region.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

The National Aeronautics and Space Administration (NASA) has regularly supported satellite systems and research via its Earth Science program, providing essential data for the analysis of climate and its processes. This data consists of long-term climatological averages of climate variables and surface solar energy fluxes. Additionally, average daily values of essential meteorological and solar data are displayed in a time series format. Satellite and model-based solutions have exhibited sufficient precision to provide reliable solar and meteorological resource data in regions with sparse or nonexistent surface observations (NASA POWER

2025). Figure 1 illustrates the application utilizing the NASA POWER Data Access Viewer for the Mardin observation site.

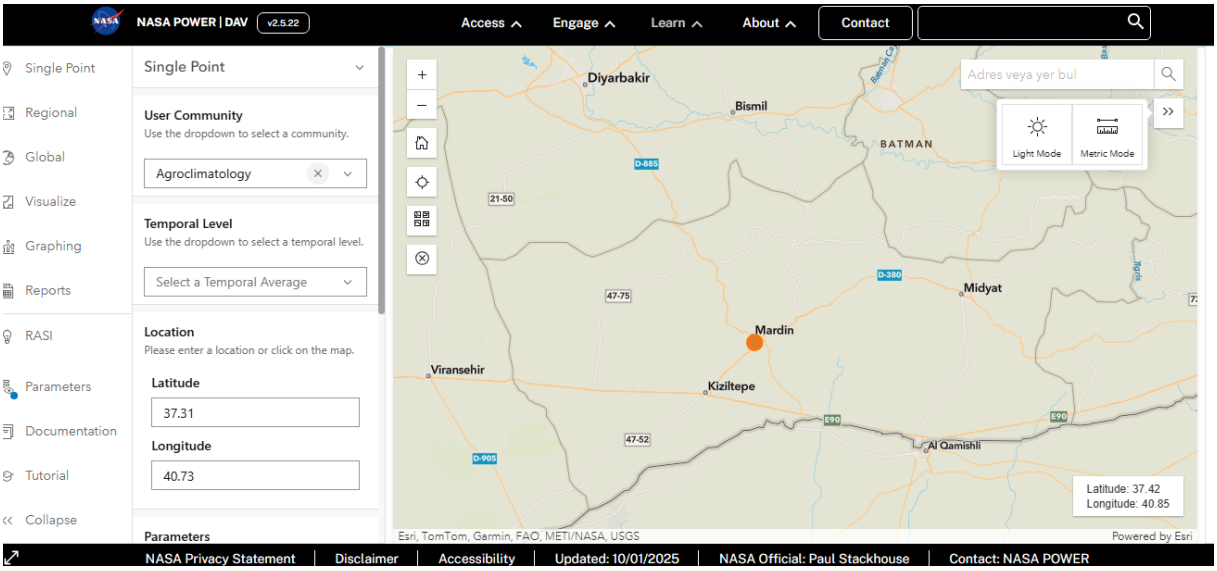


Figure 1. NASA POWER Access Data Viewer application

2.2. Method

The ADI is a comprehensive multivariate drought index that encompasses meteorological, agricultural, and hydrological drought categories, integrating several input variables such as precipitation, evaporation, soil moisture, and streamflow, which characterize different drought kinds (Keyantash and Dracup 2004). ADI evaluates drought conditions by analyzing the correlation among meteorological variables. This index evaluates the influence of one meteorological variable on another, particularly in relation to the hydrological cycle (Topçu and Karaçor 2021).

Principal Component Analysis (PCA) is employed to compute the ADI. Principal Component Analysis is a transformation method that reduces the dimensionality of correlated variables in a dataset while maintaining their magnitude. The objective of this strategy is to render the data set representable with a reduced number of variables. Detailed calculations related to ADI can be found in the study by Topçu (2025).

3. RESULTS

In terms of both wet and dry periods, the Aggregate Drought Index (ADI) values that were obtained for Mardin demonstrated that there was a substantial fluctuation in the hydroclimatic conditions that occurred during the course of the entire study period. According to the ranges that were determined in the ADI classification, which are as follows: 1.4904 to 1.9904 = Extremely Wet, 1.4723 to 1.9904 = Severe Wet, 0.9811 to 1.4723 = Medium Wet, 0.4954 to 0.9811 = Weak Wet, and ADI to 0 = Drought ranges, it is evident that the majority of the time series is centered in the Normal (193 months) class. Because of this circumstance, it can be deduced that the climate of Mardin is quite near to the average over the long period, and that

the length of extreme circumstances is relatively short. Monthly ADI values are seen in Figure 2. ADI threshold also can be found in Table 1.

Table 1. ADI drought thresholds for Mardin

1.9904<ADI	Extremely Wet
1.4723<ADI<1.9904	Severe Wet
0.9811<ADI<1.4723	Medium Wet
0.4954<ADI<0.9811	Weak Wet
-0.4950<ADI<0.4954	Normal
-0.9861<ADI<-0.4950	Weak Drought
-1.4768<ADI<-0.9861	Medium Drought
-1.9790<ADI<-1.4768	Severe Drought
ADI<-1.9790	Extremely Drought

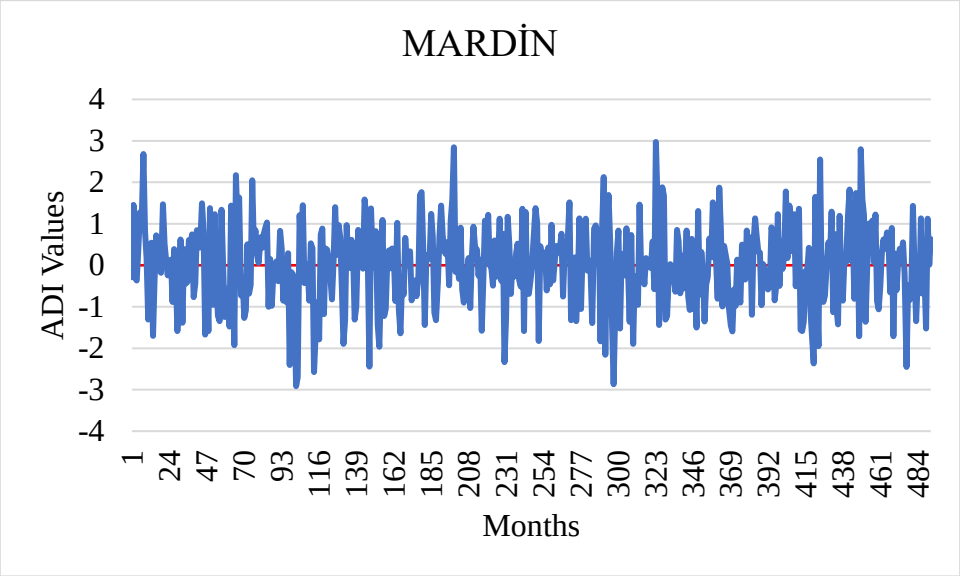


Figure 2. Monthly ADI values of Mardin

The Weak Wet (79 months) class is the condition that occurs most frequently after the usual period has reached its conclusion. According to the ADI range, this period, which has values ranging from 0.4954 to 0.9811, demonstrates that the region is subject to periods of surplus moisture that are frequent but of a low intensity. Medium Wet (46 months) and Severe Wet (19 months) classes, which indicate intermediate wet periods and heavier moisture events respectively, occurred less frequently, showing that wet anomalies were limited but occasionally considerably prevalent. Medium Wet classes lasted during 46 months, whereas Severe Wet classes lasted for 19 months. Extremely Wet, which lasted for eight months, was the most extreme wet period that happened within the range of ADI more than 1.9904, which indicates that conditions that are extremely humid are exceptionally uncommon in the climate of the region.

According to the drought side of things, there were three primary drought classes that were recognized during times when the ADI entered negative values. Periods during which the ADI was slightly negative and the moisture deficit was minimal are referred to as episodes of weak

drought, which lasted for 63 months. The fact that the region is occasionally subjected to significant drought stress is indicated by the fact that it is classified as Medium Dry (48 months), which suggests that the severity of the drought is growing. This class, which lasts over a period of 26 months, is characterized by times in which the ADI is getting closer and closer to its maximum negative values, during which severe moisture deficiencies and significant hydroclimatic pressures are prevalent. The low frequency of this class implies that severe droughts are effective and remarkable throughout the region, despite the fact that they are very uncommon for the region.

The assessment of drought classifications reveals that Weak Drought (63 months) signifies the region often encounters minor moisture deficiencies. This class specifically illustrates the high temperature–high evapotranspiration phenomenon, notably in the summer months. The comparatively elevated occurrence of the Medium Dry (48 months) category suggests that the region intermittently faces moderate drought conditions, whereas the Serious Dry (26 months) intervals reflect less frequent yet more severe drought events.

Upon comprehensive analysis of this distribution, it is evident that Mardin's climatic framework is "normal in the center, exhibiting short-term yet intense anomalies at the peripheries." Despite comprising only, a small fraction of the overall time series, both extreme wet and dry periods exert considerable influence on hydrological and agricultural systems. The frequency distribution provided by ADI is an essential decision-making tool for regional water management and agricultural planning.

In general, when looking at the ADI graph, it is noted that the drought-wetness cycle in Mardin is asymmetrical. This means that times of normal and somewhat wet weather remain for a longer amount of time, whereas periods of extremely wet and severe drought are shorter but appear to have stronger variations. The results of this study suggest that the hydroclimatic structure of the region largely varies around normal values; however, there are periodic significant deviations detected in both excess and deficit of moisture.

4. CONCLUSION

This study offers a thorough drought evaluation for the Mardin station utilizing the Aggregate Drought Index (ADI), which is based on six meteorological variables received from the NASA POWER data access platform for the period of 1984–2024. The results clearly indicate that Mardin possesses a unique hydroclimatic framework characterized by significant seasonal variability. The ADI-based classification indicates that while typical circumstances prevail in the majority of the long-term record, the region undergoes regular shifts between moderate wetness and differing degrees of drought. Specifically, weak dry, medium dry, and severe dry periods exemplify the region's vulnerability to water shortages, mostly caused by heightened temperatures, augmented evapotranspiration, and restricted summer rainfall.

The ADI time series illustrates an asymmetric cycle of drought and wetness, characterized by prolonged moderate wet or near-normal circumstances, whereas extreme wet and severe drought events manifest rapidly and endure for shorter periods. This pattern corresponds with the meteorological traits of Southeastern Türkiye, characterized by severe summer aridity after rather humid winter months. The recognition of these transitions highlights the necessity of observing the variability of climatic parameters as a whole instead of depending on a solitary

drought indicator. The work underscores that the ADI is a reliable and efficient multivariate instrument for elucidating intricate drought dynamics in semi-arid regions like Mardin. The results offer significant insights for irrigation planning, agricultural scheduling, hydrological management, and regional drought preparedness methods. Integrating ADI-based evaluations into local and regional water plans could markedly bolster resistance to seasonal water shortages, optimize resource distribution, and facilitate enduring climate adaptation strategies.

REFERENCES

1. Topçu, E., Karaçor, F., Çırağ, B. et al. Drought assessment in the northeastern Aras Basin using multi-parameter aggregate drought index and innovative polygon trend analysis. Earth Sci Inform 18, 273 (2025). https://doi.org/10.1007/s12145-025-01797-x

2. Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391(1–2), 202–216. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

3. NASA POWER (2025) https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/ (Access Date: 10.11.2025)

4. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.

5. Keyantash JA, Dracup JA (2004) An aggregate drought index: Assessing drought severity based on fluctuations in the hydrologic cycle and surface water storage. Water Resources Research 40(9), https://doi.org/10.1029/2003WR002610

6. Topçu E, Karaçor F (2021) Drought analysis of Erzurum Station by using standardized precipitation evapotranspiration index and aggregated drought index. Journal of Polytechnic 24(2):565–574. https://doi.org/10.2339/politeknik.682168

7. Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International, 10(3), 111–120. https://doi.org/10.1080/02508068508686328

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GÖKÇE FPV KAMİKAZE İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ

***İbrahim Berke ÖZSAĞ**
ibrahimozsag14@gmail.com
***Selinay COŞKUN**
benselinaycoskun@gmail.com
***Zeynep Nur ÖZKOÇAK**
zeynepnurozkocak1@gmail.com
***Fatih ÇELİK**
fatihcelik6956@gmail.com
***Abdulsametcan SÜRÜCÜ**
dargeus00@hotmail.com
***Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA**
gizemdelibalta@baskent.edu.tr
***Öğr. Gör. Ogan KESKİN**
ogankeskin@baskent.edu.tr - https://orcid.org/0009-0002-5191-6898
*Başkent Üniversitesi Anadolu OSB MYO

ÖZET

Bu çalışmada yüksek manevra kabiliyetine sahip insansız hava aracı (İHA) GÖKÇE FPV Kamikaze geliştirilmiştir. Tübitak 2209-A projesi kapsamında geliştirilen İHA ile kolluk kuvvetlerinin güvenliğini artırmak ve operasyonel başarılarını desteklemek üzere savunma sanayisi ve istihbarat alanında kullanılabilecek, manuel olarak kontrol edilen FPV (First Person View) kamikaze drone tasarlanmıştır. İHA'nın gövde tasarımı yapılmış ve 3B yazıcı ile hafiflik ve düşük maliyet sağlaması ve parça değişimi kolaylığı nedeniyle PLA malzemesi seçilerek üretilmiştir. 2–6S LiPo pillerle uyumlu, 1300 KV hız değerine sahip, maksimum güç çıkışı 1400 W'a kadar ulaşabilen ve 55 A'a kadar akım çekebilen, yüksek verimlilik ve güçlü itiş gücü sağlayan motorlar kullanılmıştır. Tüm sistem bir araya getirildikten sonra montaj gerçekleştirilmiştir. Kumanda-alıcı sisteminin kalibrasyonu, FPV sistem testleri ve enerji yönetimi başarıyla tamamlanmış ve sistem uçuşa hazır hale getirilmiştir. Uçuş stabilitesi, görüntü aktarım kalitesi, ESC-motor uyumu, batarya süresi ve iniş takımı dayanıklılığı değerlendirilerek başarıyla tamamlanmıştır. Bileşenlerin tamamı uyumlu çalışmış, uçuş testlerinde sistem beklentilerini karşılamış ve sorunsuz bir şekilde uçuş gerçekleştirmiştir.

Anahtar Kelimeler : İnsansız hava aracı, savunma sistemleri, manevra kabiliyetli sistem

ABSTRACT

In this study, the GÖKÇE FPV Kamikaze, a highly maneuverable unmanned aerial vehicle (UAV), was developed. Developed under the TÜBİTAK 2209-A project, this manually controlled FPV (First Person View) kamikaze drone is designed to enhance the security of law enforcement and support their operational success in the defense and intelligence sectors. The UAV's body was designed using a 3D printer and manufactured using PLA material for its lightweight, low-cost, and ease of part replacement. Motors were used that provide high efficiency and powerful thrust, are compatible with 2–6S LiPo batteries, have a speed rating of 1300 kV, a maximum power output of up to 1400 W, and a current draw of up to 55 A. The entire system was assembled and assembled. Calibration of the control-receiver system, FPV system tests, and energy management were successfully completed, and the system was ready for flight. Flight stability, image transmission quality, ESC-motor compatibility, battery life, and landing gear durability were evaluated. All components worked harmoniously, met system expectations in flight tests, and flew smoothly.

1. GİRİŞ

İnsansız hava aracı (İHA), genellikle pilotu olmayan bir hava aracı olarak kabul edilmektedir [1-3]. Küreselleşen dünyada İHA'ların tek bir sınıflandırma şeması altında kesin biçimde kategorize edilmesi güçtür [4,5]. İHA'lar, havadan ağır veya havadan hafif olmaları, azami kalkış ağırlıkları, görüş hattı içi (VLOS – Visual Line of Sight) veya görüş hattı ötesi (BLOS – Beyond Line of Sight) operasyon kabiliyetleri ile yüksek irtifa uzun havada kalış (HALE – High Altitude Long Endurance) ya da orta irtifa uzun havada kalış (MALE – Medium Altitude Long Endurance) gibi performans ve görev profillerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır [6]. Bunun yanı sıra, aerodinamik yapılarına ve uçuş prensiplerine bağlı olarak sabit kanatlı ve döner kanatlı (tek rotorlu veya çok rotorlu) İHA'lar şeklinde de bir ayrım yapılmaktadır [7,8]. Döner kanatlı İHA'lar, sahip oldukları dikey kalkış ve iniş (VTOL – Vertical Take-Off and Landing) kabiliyeti sayesinde sabit kanatlı sistemlerin aksine pist veya benzeri özel kalkış-iniş altyapılarına ihtiyaç duymamaktadır. Bu özellikleri, özellikle kısıtlı alanlarda operasyon yapabilme avantajı sağlamaktadır [9]. Ayrıca, hızlı kurulum, kolay montaj ve kısa uçuşa hazırlık süreleri gibi operasyonel üstünlükleri nedeniyle döner kanatlı İHA'lar birçok sivil ve askeri uygulamada tercih edilmektedir [7,10]. İlerleyen teknoloji sayesinde insansız hava araçlarının kullanım alanları da genişlemektedir [11,12]. İHA teknolojileri, özellikle savunma ve güvenlik uygulamalarında son yıllarda kritik bir rol oynamaktadır [13,14]. GPS (Global Positioning System), insansız hava araçlarında konumlama doğruluğunu artırarak seyrüsefer, hız ve irtifa bilgisinin gerçek zamanlı elde edilmesini sağlamakta ve otonom uçuş ile görev planlamasının güvenilir biçimde yürütülmesine olanak tanımaktadır [14,15]. GPS tabanlı İHA'lar sinyal kesintisi veya yanıltma gibi olumsuz durumlara açık olduğu için operasyonel güvenlikte sorun oluşturabilmektedir [16,17]. Bu nedenle GPS bağımsız sistemler daha güvenilir bir alternatif yaratmaktadır [16-18]. İHA'nın GPS'e bağlı kalmadan uçuş gerçekleştirebilmesi ile anlık görüntü aktarımı zaman hassasiyetinin yüksek olduğu operasyonlarda önemli bir avantaj sağlamaktadır [18-20]. Bu çalışmada özellikle GPS'in yetersiz kaldığı ortamlarda etkili bir yön bulma ve görev gerçekleştirme kabiliyeti sağlayan,

gerçek zamanlı video aktarımıyla operatörün aracı doğrudan kontrol etmesini sağlayan Birinci Kişi Perspektifli Uçuş (First Person View- FPV) teknolojisi kullanılarak yüksek manevra kabiliyetine sahip bir GÖKÇE FPV Kamikaze İHA geliştirilmiştir. Gökçe Kamikaze İHA, toz ve su geçirmeyen hafif gövdesi sayesinde yüksek hızlara ulaşabilme potansiyeline sahiptir. İHA'nın şase ve kep yapısı 3D yazıcıyla üretilmiş modüler yapıya sahip olup hem kamikaze görevlerine hem de farklı faydalı yüklerin taşınmasına olanak tanımaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik gözetilerek, tasarımda geri dönüştürülebilir malzemeler tercih edilmiştir. Operasyonel açıdan sistem, GPS'e bağlı kalmadan uçabilme özelliği ve anlık görüntü aktarımı ile güvenlik güçlerine operasyonel üstünlük sağlamaktadır.

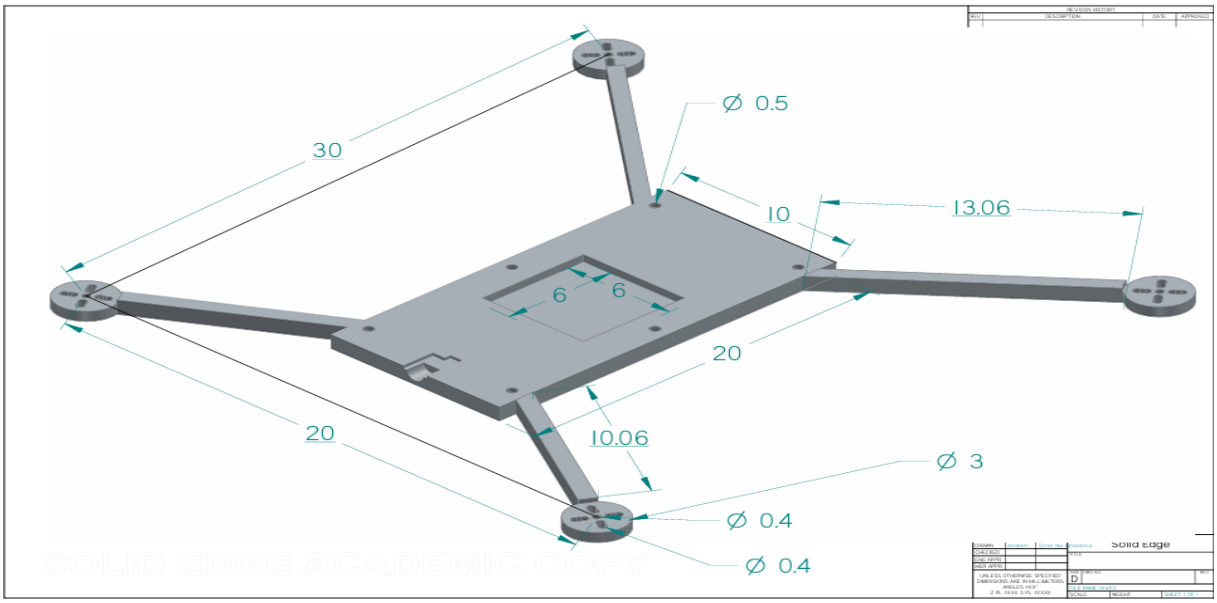
2. DENEYSEL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, Gökçe Kamikaze İHA'nın gövde (şase) ve kaporta (kep) yapısı, SolidWorks programında tasarlanmış ve Bambulab A1 3B yazıcısı kullanılarak Esun/PLA filament ile üretilmiştir [21]. İniş takımı ise darbeleri absorbe edebilecek esnek plastik ve kauçuk bileşenlerden imal edilmiştir [22]. Tahrik sistemi olarak, 2–6S LiPo bataryalarla uyumlu, 1300 KV hız sabitine sahip ve maksimum 1400 W güç çıkışına ulaşabilen Angel X2807 1300KV FPV tipi fırçasız motorlar tercih edilmiştir [23]. Uçuş kontrol ünitesi olarak ise STM32F405 mikrodenetleyicisine sahip, 3–6S LiPo destekli ve 50A sürekli akım sağlayabilen GEPRC TAKER F405 BL5 V2 STACK kullanılmıştır [24]. Bu bileşenler, kamikaze görev profiline uygunluk gösterebilecek özellikler sunmakta olup, literatürde benzer uygulamalarda yüksek tepki kabiliyeti ve dayanıklılık sağladığı belirtilmiştir [25,26]. Bu çalışmada kullanılan görüntüleme sisteminde, yüksek çözünürlüklü ve düşük gecikmeli görüntü aktarımı sağlayan RunCam Phoenix 2 Special Edition kamera ile uzun menzilli iletim için optimize edilmiş AKK Race Ranger 1.6W VTX video verici modülü tercih edilmiştir [27]. Sistem, özellikle arama-kurtarma operasyonları gibi kesintisiz ve net görüntü gerektiren uygulamalar için yapılandırılmıştır. Anlık görüntülerin kullanıcıya düşük gecikmeyle iletilmesi amacıyla, 5.8 GHz frekans bandında çalışan, 150 kanal destekli, 720x480 çözünürlük sunan ve Android uyumlu bir alıcı kullanılmıştır. Görüntüleme kalitesini artırmak adına FPV gözlüklerinde Fresnel lens teknolojisinden yararlanılmıştır. Yer kontrol istasyonu (YKI) olarak geliştirilen sistemde, iki yön çubuğu (stick), beş adet anahtar (switch) ve RF anten yer almakta olup; uçuş esnasında anlık verilerin izlenebilmesi amacıyla 1.3 inç I2C OLED ekran entegre edilmiştir. Enerji yönetiminde ise 4S 30A BMS 18650 lityum batarya koruma modülü ve değiştirilebilir 18650 pil yuvaları kullanılarak, modüler yapı korunmuş ve batarya güvenliği sağlanmıştır. FlySky i6 kumanda ve FS-iA6B alıcı kullanılmıştır. Sistem 6 kanal, uzun menzil özelliklerine sahip olup, LCD ekran aracılığıyla kullanıcıya kolay erişim imkânı sağlamaktadır. Bu yapı sayesinde sistemin güvenli, verimli ve sürdürülebilir bir enerji akışıyla çalışması mümkün kılınmıştır [28]. Bu çalışmada İHA üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

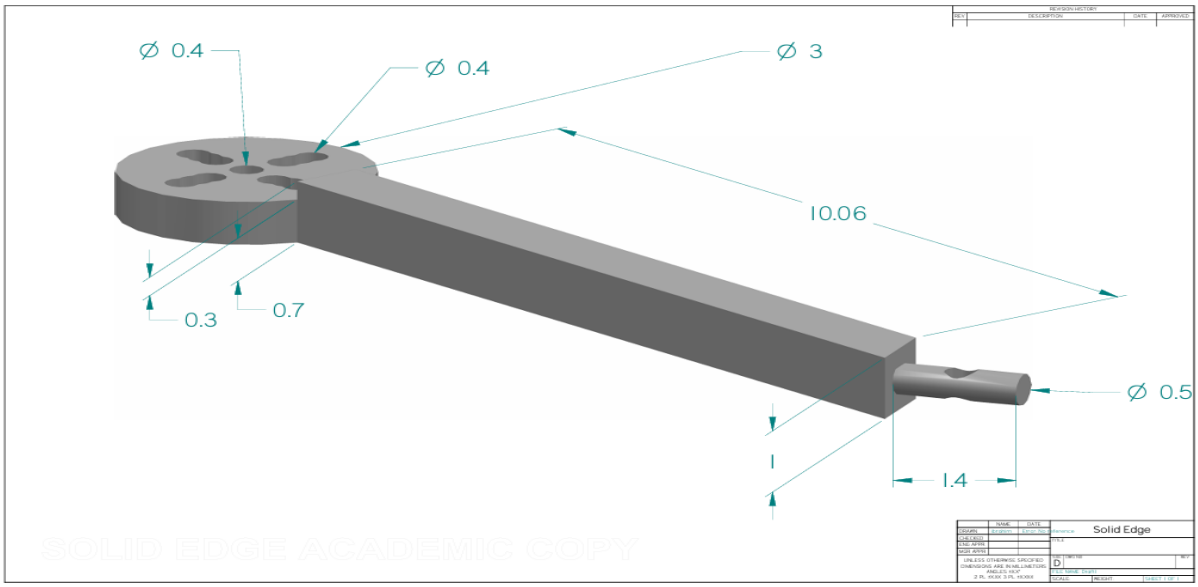
1. Gövde Üretimi, kapalı ve iki parçadan oluşan (şase ve kep) gövde tasarımı.
2. Gözlük Üretimi
3. Kumanda Üretimi

Çalışmanın ilk aşamasında, tasarım süreçlerine ilişkin ve aviyonik bileşenlerin entegrasyonuna uygun olarak tasarlanmıştır. İHA şase modeli Görsel 1'de, kol tasarımı Görsel 2'de, iniş takımı tasarımı, katı modeli Görsel 3'te yer almaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

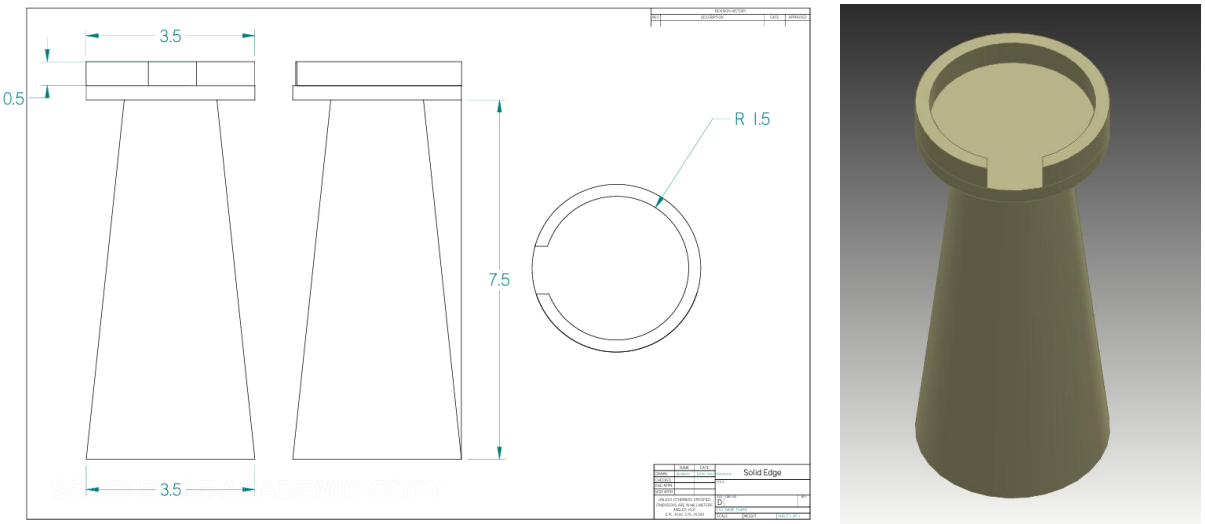


Görsel 1. Aviyonik bileşenlerin entegrasyonuna uygun olarak tasarlanmış ve 3B baskı yöntemiyle üretilmiş İHA şase modeli (ölçüler mm cinsindendir)



Görsel 2. Tahrik sisteminin montajına olanak sağlayacak şekilde optimize edilmiş, 3B baskı ile üretilmiş modüler İHA kol tasarımı. (ölçüler mm cinsindendir)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

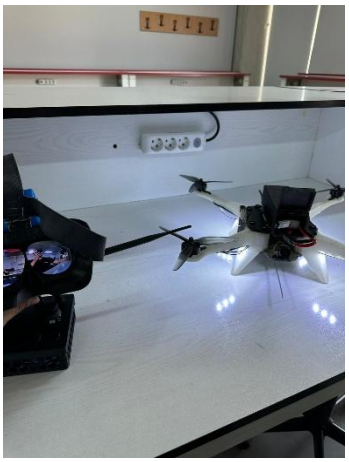


Görsel 3. İHA iniş takımına ait (a) ölçülendirilmiş teknik çizim ve (b) 3B CAD ortamında oluşturulmuş katı model.

Görsel 3’te tasarlanan İHA’nın gövde geometrisinin Solidworks programında hazırlanan şematik gösterimi verilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Montajın tamamlanmasının ardından, kumanda-alıcı sisteminin kalibrasyonu, FPV sistem testleri ve enerji yönetimi başarıyla gerçekleştirilerek sistem uçuşa hazır hale getirilmiştir. Test faaliyetleri kapsamında uçuş stabilitesi, görüntü aktarım kalitesi, ESC-motor uyumu, batarya süresi ve iniş takımı dayanıklılığı değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda düşük maliyetli, taşınabilir, yüksek manevra kabiliyetine sahip ve FPV (First Person View) görüntü aktarımına olanak tanıyan kamikaze İHA prototipi tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Geliştirilen GÖKÇEK KAMİKAZE İHA’nın görünümü Görsel 7’de verilmiştir. Sistem bileşenleri arasındaki entegrasyonun uyumluluğu doğrulanmış olup, gerçekleştirilen uçuş testleri tasarımın öngörülen performans kriterlerini karşıladığını göstermiştir.



Görsel 4. Geliştirilen kamikaze İHA prototipine ait genel görünümü

KAYNAKÇA

1. Laghari, A. A., Jumani, A. K., Laghari, R. A., Nawaz, H., Unmanned Aerial Vehicles: A Review, Cognitive Robotics, 3, 8–22, 2023.

2. Aldemir, M. H., Akgün, Ö., Gürkan, G., Erkaymaz, H., Ground-Based UAV Detection and Tracking: A Comparative Analysis / Kara Tabanlı İHA Algılama ve Takibi: Karşılaştırmalı Bir Analiz, Journal of Aeronautics and Space Technologies, 18(2), 120–155, 2025.

3. Güçlü, İ., Tunca, E., Kafalı, H., Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Maintenance Applications / İnsansız Hava Araçları (İHA) ve Bakım Uygulamaları, Scientific and Vocational Studies Congress – Engineering (BILMES EN 2020) Full Text Book, 301, 2020.

4. Tachinina, O., Lysenko, A., Kutiepov, V., Classification of Modern Unmanned Aerial Vehicles, Electronics and Control Systems, 4(74), 79–86, 2022.

5. Singhal, G., Bansod, B., Mathew, L., Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review, 2018.

6. Başçiftçi, F., Doğan, Y., Karaağaç, A., Examining the Types of Unmanned Aerial Vehicles and Their Usage Areas, Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, 20, 120–128, 2022.

7. Elmeseiry, N., Alshaer, N., Ismail, T., A Detailed Survey and Future Directions of Unmanned Aerial Vehicles with Potential Applications, Aerospace, 8(12), 363, 2021.

8. Lee, C., Kim, S., Chu, B., A Survey: Flight Mechanism and Mechanical Structure of the UAV, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 22(4), 719–743, 2021.

9. Özdemir, U., Dikey İniş Kalkış Yapabilen Sabit Kanatlı İnsansız Hava Aracı Tasarım, Üretimi ve Uçuş Testleri, Yüksek Lisans Tezi, 2015.

10. Li, M., Beyond Conventional Drones: A Review of Unconventional Rotary-Wing UAV Design, Drones, 9(5), 323, 2025.

11. Villi, O., Yakar, M., İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 4(2), 73–100, 2022.

12. Erdil, B., İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ile Bu Araçların Türkiye'nin Yurtdışı Operasyonlarındaki Yeri ve Önemi, Bölgesel Araştırmalar Dergisi, 5(2), 581–607, 2021.

13. Koçyiğit, K., Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı Teknolojisindeki Gelişimi: 1980 Sonrasından Günümüze Tarihsel Bir İnceleme, Journal of Aerospace Science and Management, 3(1), 42–63, 2025.

14. Hasançebi, B., İnsansız Hava Araçlarının Savunma Sanayisindeki Yeri ve Türk Dış Politikası Açısından Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir, 2024.

15. Zimmermann, F., Eling, C., Klingbeil, L., Kuhlmann, H., Precise Positioning of UAVs: Dealing with Challenging RTK-GPS Measurement Conditions During Automated UAV Flights, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4, 95–102, 2017.

16. Zhao, H., Cai, L., Liu, Q., Hu, H., Review of UAV Navigation in GPS-Denied Environment, Journal of Navigation, 73(4), 801–822, 2020.

17. Chang, Y., Cheng, Y., Manzoor, U., Murray, J., A Review of UAV Autonomous Navigation in GPS-Denied Environments, Robotics and Autonomous Systems, 170, 104533, 2023.

18. Gandhi, N. R., Kumar, D., Arunkumar, E., Parameshwari, S., Sadim, M., Al-Fatlawy, R. R., A Detailed Review Analysis of GPS Used in Drone Technology and Its Challenges, 4th International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering (ICACITE), 363–367, 2024.

19. Kangunde, V., Jamisola Jr., R. S., Theophilus, E. K., A Review on Drones Controlled in Real-Time, International Journal of Dynamics and Control, 9(4), 1832–1846, 2021.

20. Chen, P., Dang, Y., Liang, R., Zhu, W., He, X., Real-Time Object Tracking on a Drone with Multi-Inertial Sensing Data, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 19(1), 131–139, 2017.

21. Zhang, Y., Li, H., Application of PLA Filament in 3D Printed Drone Frames: Material Properties and Performance, Materials Science and Engineering, 45(6), 1234–1242, 2020.

22. Smith, J., Brown, L., Impact Absorption Properties of Rubber and Flexible Polymers in Protective Equipment, Polymer Testing, 59, 150–158, 2017.

23. Kim, S., Park, J., Performance Evaluation of Angel X2807 Brushless Motors for UAV Applications, International Journal of Aerospace Engineering, 2018, 2018.

24. You, K., Kim, H., Development of a Quadrotor Flight Controller Using STM32F4 Microcontroller, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 91(1), 103–115, 2018.

25. Nguyen, H. Q., Ha, C. T., Duong, T. T., Design and Implementation of a Low-Cost UAV System Using 3D Printed Components, International Journal of Advanced Robotic Systems, 17(1), 1–10, 2020.

26. Smith, J., Brown, L., Development of Lightweight Drone Frames Using PLA and 3D Printing Technology, Journal of Unmanned Vehicle Systems, 7(3), 120–130, 2019.

27. Chen, L., Zhang, H., Wu, J., Real-Time FPV Video Transmission System Design for UAVs Using Low-Latency Camera and High-Power VTX Modules, Journal of Unmanned Vehicle Systems, 9(3), 158–167, 2021.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ŞİMAL YILDIZI ACİL DURUM İNSANSIZ HAVA ARACI GELİŞTİRİLMESİ
ŞİMAL YILDIZI EMERGENCY UNMANNED AERIAL VEHICLE DEVELOPMENT

***Melike ÖZDEMİR**
melikeozdmr339@gmail.com
***Ceren YURTSEVEN**
cerenyurtseven801@gmail.com
***Hilal ÜZEL**
22398398@baskent.edu.tr
***Erdoğan Toprak ONAT**
toprakonat1@gmail.com
***Cihan KARABIÇAK**
cihan06213@gmail.com
***Öğr. Gör. Dr. Cankız Gizem DELİBALTA**

gizemdelibalta@baskent.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-3199-3709

***Öğr. Gör. Ogan KESKİN**

ogankeskin@baskent.edu.tr - https://orcid.org/0009-0002-5191-6898

ÖZET

Bu çalışmada arama-kurtarma çalışmalarına yardımcı, düşük ışık koşullarında geçici ve yönlendirilebilir aydınlatma sağlamak amacıyla, küçük boyutlu ve taşınabilir bir aydınlatma İnsansız Hava Aracı (İHA) prototipi geliştirilmiştir. Arama-kurtarma operasyonları için geliştirilen Şimal Yıldızı Acil Durum İHA, özellikle deprem gibi afet durumlarında enkaz altındaki kazazedelerin tespitine yönelik olarak, ışık yetersizliğinin yaşandığı akşam saatlerinde etkin aydınlatma sağlamak üzere tasarlanmıştır. Tübitak 2209-A programı ile desteklenen projede, bataryalı/akülü İHA'ların sınırlı uçuş süresi sorununu aşmak için yerden destekli kablolu enerji sistemi yaklaşımını benimsemiştir. Çalışmada motor, elektronik hız kontrol cihazı (ESC) ve aksesuarlarını içeren RC Fırçasız ESC Seti kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ESC, 20A sürekli akım ve 25A (10 sn) pik akım kapasitesine sahiptir. ESC'de Silabs EFM8BB21F16 mikrodenetleyicisi kullanılmış olup, bu birim 48 MHz saat frekansında çalışmaktadır. Kullanılan BLDC motorun KV değeri 2300'dür. Sistem BEC içermemektedir. Prototip geliştirme sürecinde faydalı yük olarak yüksek parlaklıkta beyaz LED tabanlı aydınlatma sistemi, temel uçuş kontrol birimi ve enerji yönetimi bileşenleri entegre edilmiştir. Gerçekleştirilen uçuş testlerinde, uçuş stabilitesi, ESC-motor uyumu ve iniş takımı dayanıklılığı kriterleri incelenerek tüm sistem bileşenlerinin birbiriyle uyumlu çalıştığı gözlemlenmiştir. Elde edilen veriler, geliştirilen sistemin öngörülen işlevleri etkin bir biçimde yerine getirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Acil durum İHA, Kablolu İHA, arama kurtarma, prototip üretim

ABSTRACT

This study develops a prototype of a small, portable, and steerable lighting Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to assist search and rescue operations in low-light conditions. The North Star Emergency UAV, developed for search and rescue operations, is designed to provide effective lighting during evening hours when light is insufficient, particularly for locating victims under rubble in disaster situations such as earthquakes. Supported by the TÜBİTAK 2209-A program, the project adopts a ground-supported wired power system approach to overcome the limited flight time problem of battery-powered UAVs. The study utilizes an RC Brushless ESC Kit including a motor, electronic speed controller (ESC), and accessories. The ESC used has a continuous current capacity of 20A and a peak current capacity of 25A (10 seconds). The ESC uses a Silabs EFM8BB21F16 microcontroller operating at a clock frequency of 48 MHz. The BLDC motor used has a kV value of 2300. The system does not include a BEC (Battery Eliminator Circuit). During the prototype development process, a high-brightness white LED-based lighting system, a basic flight control unit, and energy management components were integrated as the payload. In the flight tests performed, flight stability, ESC-motor compatibility, and landing gear durability criteria were examined, and it was observed that all system components worked together harmoniously. The data obtained show that the developed system effectively performs its intended functions.

Keywords: Emergency UAV, Wired UAV, search and rescue, prototype production

1. GİRİŞ

Türkiye'de yaşanan doğal afetler, özellikle depremler sırasında, gece saatlerinde arama-kurtarma çalışmalarında ciddi duraksamalara yol açabilmektedir (1-3). Işığın yetersiz olduğu bu tür arama-kurtarma operasyonlarında bu durum müdahalelerin etkinliğini sınırlamaktadır ve geçici, güçlü aydınlatma çözümleri kritik önem kazanmaktadır (3,4). Geleneksel geçici aydınlatma yöntemlerine alternatif olarak, İHA kullanılan mobil aydınlatma sistemleri son yıllarda ilgi görmektedir (5,6). Ancak akülü veya pilli İHA'ların sınırlı uçuş süreleri, özellikle uzun süreli görev gerektiren afet ve kaza müdahaleleri için önemli bir sorun oluşturmaktadır (7-10). Sınırlamaları ortadan kaldırmak için kablolu aydınlatma fonksiyonuna sahip İHA'lar geliştirilmiştir. Güçlü enerji kaynağı ile donatılmaları sayesinde bu sistemler uzun süreli operasyonlar gerçekleştirebilmektedir (8,10). Kablolu sistemler, kesintisiz güç ve veri transferi sağlayarak uzun süreli görevlerde operasyonel güvenilirliği artırmaktadır (10-12). Bu çalışma kapsamında geliştirilen prototip sistem, belirtilen özelliklere sahip ürünlerin yerli ve millî imkânlarla tasarlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Sunulan sistem, uzun süreli operasyonlarda güvenilirlik ve performans açısından mevcut çözümlerden üstünlük sağlamayı hedeflemektedir.

2. DENEYSEL UYGULAMALAR

Bu çalışma kapsamında geliştirilen insansız hava aracı (İHA) prototipi, "Şimal Yıldızı" olarak adlandırılmıştır. Şimal Yıldızı İHA'sı, manuel kontrollü, çok rotorlu bir platform olarak tasarlanmış ve sistem performansının değerlendirilmesi amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel süreçte; kontrol ve güç sistemlerinin uçuş kararlılığı üzerindeki

etkileri, haberleşme güvenilirliği ve faydalı yük entegrasyonunun uçuş performansına katkıları incelenmiştir. Prototip tasarımında modülerlik, ağırlık optimizasyonu ve manevra kabiliyeti temel tasarım kriterleri olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda, uçuş kontrol birimi, tahrik sistemi ve aydınlatma amaçlı faydalı yük bileşenleri laboratuvar ortamında test edilmiş; ardından kapalı alan uçuş deneyleri ile sistemin gerçek çalışma koşulları altındaki performansı gözlemlenmiştir. Bu bölümde, Şimal Yıldızı İHA'sının kontrol ve güç sistemi bileşenleri ile faydalı yük entegrasyonuna ilişkin teknik detaylar sunulmaktadır.

2.1.Kontrol ve Güç Sistemi

Motorlar ve Elektronik Hız Kontrolcüler (ESC):

Manevra kabiliyetini artırmak ve yüksek performanslı uçuş sağlamak amacıyla, yüksek devirli ve düşük kütleye sahip dört adet 2300 kV değerine sahip fırçasız DC motor tercih edilmiştir. Tahrik sisteminde bileşenler arası uyumluluğun sağlanması ve olası performans kayıplarının önlenmesi amacıyla motorlar ve elektronik hız kontrolcüler (ESC) set halinde temin edilmiştir. Bu yaklaşım, sistemin güvenilirliğini ve tekrarlanabilirliğini artırmıştır (13).

Uçuş Kontrol Kartı (Flight Controller – FC):

Uçuş kontrol birimi olarak Omnibus F4 Pro V2 modeli kullanılmıştır. Söz konusu kontrol kartı, entegre sensörleri ve ayarlanabilir PID kontrol parametreleri sayesinde uçuş stabilitesinin sağlanmasına olanak tanımaktadır. Kartın işlemci kapasitesi ve sensör desteği, manuel uçuş sırasında kararlı ve kontrollü bir uçuş performansı elde edilmesini mümkün kılmıştır (14).

Yazılım Altyapısı:

Uçuş kontrol kartı, açık kaynaklı ArduPilot yazılımı ile yapılandırılmıştır. ArduPilot yazılımı; uçuş kontrolü, sistem kararlılığı ve parametre ayarları açısından esnek konfigürasyon seçenekleri sunarak deneysel çalışmalarda manuel uçuş gereksinimlerini etkin bir şekilde desteklemiştir (15,16).

Kontrol Kumandası:

Kontrol sistemi kapsamında FlySky FS-i6 verici ve FlySky FS-iA6B alıcıdan oluşan uzaktan kumanda seti kullanılmıştır. Bu haberleşme altyapısı, güvenilir ve kararlı bir kontrol bağlantısı sağlayarak Şimal Yıldızı İHA'sının manuel olarak kontrol edilmesine imkân tanımıştır. Mevcut prototipte, otomatik uçuş veya sensör tabanlı otonom kontrol sistemleri yerine manuel kontrol yaklaşımı benimsenmiştir (17,18).

2.2. Gövde Tasarımı:

Şimal Yıldızı İHA prototipi, üç boyutlu (3B) yazıcı kullanılarak üretilmiştir. 3B yazıcı kullanımıyla prototipin hafifliği, dayanıklılığı ve özelleştirilebilirliği açısından önemli avantajlar sağlanmıştır. Gövde üretiminde, yüksek hassasiyetli FDM (Fused Deposition Modeling) yazıcı teknolojisi kullanılmış, katmanlı üretim yöntemiyle istenilen form elde edilmiştir (19,20). İlk aşamada tasarım CAD yazılımı üzerinden dijital ortamda oluşturulmuş ve ardından yazıcıya aktarılmıştır. Bu çalışmada tasarlanan gövde ELEGOO Neptun 3 Plus

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

markalı 3B yazıcı ile ESUN ABS filament kullanılarak üretilmiştir. 3B yazıcı ile üretim aşamalarından bir kesit Şekil 1'de ve üretilen İHA gövdesine ait görsel Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 1: 3B yazıcı ile üretim aşamalarından bir kesit.

Şekil 2: Şimal Yıldızı İHA'nın 3B yazıcı ile üretilen gövdesi

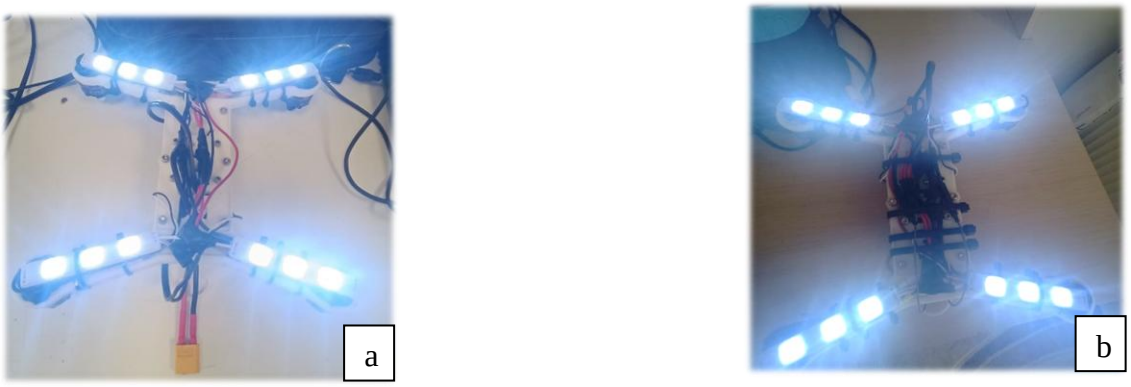
2.3.Faydalı Yük: Aydınlatma Sistemi

Şimal Yıldızı İHA'sına faydalı yük olarak, şerit LED modüllerden oluşan bir aydınlatma sistemi entegre edilmiştir. LED modüller, İHA üzerindeki ana güç kaynağına kablolu bağlantı ile bağlanarak çalıştırılmıştır. Bu tasarım yaklaşımı, ilave bir batarya kullanımını ve buna bağlı ağırlık artışını önleyerek uçuş süresinin uzatılmasına katkı sağlamıştır. Aydınlatma sistemi, uçuş sırasında belirlenen bir alanı sabit bir noktadan aydınlatacak şekilde konumlandırılmış olup, sistem manuel olarak kontrol edilmiştir.

2.4. Uçuşa Hazırlık ve Testler

Uçuşa hazırlık aşamasına geçilmeden önce, Şimal Yıldızı İHA prototipinin gövdesi montaja hazır hâle getirilmiştir. Üretilen İHA gövdesine ait görsel Şekil 3'de sunulmaktadır. Bu aşamada, gövdenin yapısal bütünlüğü ve bileşen montajına uygunluğu görsel olarak kontrol edilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil 3: (a) Üç boyutlu yazıcı ile İHA gövdesinin üretim aşamalarından bir kesit, (b) üretilen Şimal Yıldızı İHA gövdesinin genel görünümü

Uçuşa hazırlık aşamasında, motor/ESC seti, uçuş kontrol kartı ve faydalı yük olarak kullanılan LED modüller gövde üzerine entegre edilmiş; bileşenlerin yerleşimi, ağırlık merkezinin dengeli olacak şekilde konumlandırılması esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Donanımsal montaj işlemlerinin tamamlanmasının ardından, uçuş kontrol yazılımı yüklenmiş ve tüm sistemlerin işlevselliği yer testleri ile doğrulanmıştır. Bu aşamadan sonra deneysel uçuş testlerine geçilmiştir.

Gerçekleştirilen uçuş testleri, sistemin temel uçuş kabiliyetlerine sahip olduğunu ve LED tabanlı aydınlatma yükünü etkin bir şekilde taşıyabildiğini ortaya koymuştur. Ancak kullanılan bataryanın performans kaybına uğramış (degrade) olması nedeniyle uçuş kararlılığı tam anlamıyla sağlanamamıştır. Batarya sisteminin yenilenmesi ve enerji yönetiminin optimize edilmesiyle uçuş kararlılığının ve genel performansın artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca, sensör entegrasyonu ve yarı otonom uçuş modlarının sisteme dâhil edilmesi, Şimal Yıldızı İHA'sının kullanım alanlarını genişletebilecek potansiyel geliştirmeler arasında yer almaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Şimal Yıldızı İHA prototipi üzerinde gerçekleştirilen deneysel uçuş testleri, sistemin temel uçuş kabiliyetlerini ve faydalı yük entegrasyonunun işlevselliğini değerlendirmek amacıyla yürütülmüştür. Kapalı ortamda gerçekleştirilen testler sonucunda, İHA'nın yaklaşık 12–15 dakika süreyle genel olarak stabil bir uçuş performansı sergilediği gözlemlenmiştir. Bu süre zarfında, uçuş kontrol sisteminin manuel komutlara verdiği tepkilerin tutarlı olduğu ve kontrol edilebilirlik açısından kabul edilebilir bir performans sunduğu belirlenmiştir.

Faydalı yük olarak entegre edilen LED aydınlatma sisteminin, düşük ışık koşullarında yaklaşık 10–15 m² büyüklüğündeki bir alanı etkili şekilde aydınlatabildiği tespit edilmiştir. Bu bulgu, sistemin sabit nokta aydınlatma gerektiren uygulamalar için potansiyel kullanım alanlarına sahip olduğunu göstermektedir. Testler sırasında motor sıcaklıkları ve batarya tüketim değerleri sürekli olarak izlenmiş, elde edilen veriler ilerleyen tasarım iyileştirmelerine yönelik değerlendirmeler için kayıt altına alınmıştır.

Bununla birlikte, deneysel uçuşlar sırasında sistem performansını olumsuz etkileyen önemli bir operasyonel sınırlılık tespit edilmiştir. Kullanılan bataryanın performans kaybına uğramış

(degrade) olması, itki üretiminde dengesizliklere neden olmuş ve uçuş kararlılığını sınırlamıştır. Bu durum, test sonuçlarının bütüncül olarak değerlendirilmesini kısmen zorlaştırmıştır. Ayrıca, prototip tasarımında iniş takımlarının bulunmaması, iniş ve kalkış safhalarında gövdenin mekanik hasar görme riskini artırmıştır.

KAYNAKÇA

1. Kocalan, F., Doğal afetlerde arama ve kurtarma çalışmalarının afet özelliğine göre belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2019.
2. Rom, A., Kelman, I. Search without rescue? Evaluating the international search and rescue response to earthquake disasters, BMJ Global Health, 5, 12, e002398, 2020.
3. Statheropoulos, M., Agapiou, A., Pallis, G. C., Mikedi, K., Karma, S., Vamvakari, J., Thomas, C. P. Factors that affect rescue time in urban search and rescue (USAR) operations, Natural Hazards, 75, 1, 57–69, 2015.
4. Frangulea, M. M. Intelligent safety and emergency lighting solutions in disaster situations, Smart Cities International Conference (SCIC) Proceedings, 8, 235–252, 2020.
5. Mohsan, S. A. H., Othman, N. Q. H., Li, Y., Alsharif, M. H., Khan, M. A. Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends, Intelligent Service Robotics, 16, 1, 109–137, 2023.
6. Mohsan, S. A. H., Khan, M. A., Noor, F., Ullah, I., Alsharif, M. H. Towards the unmanned aerial vehicles (UAVs): A comprehensive review, Drones, 6, 6, 147, 2022.
7. Zhao, T., Zhang, Y., Wang, M., Feng, W., Cao, S., Wang, G. A critical review on the battery system reliability of drone systems, Drones, 9, 8, 539, 2025.
8. Saravanakumar, Y. N., Sultan, M. T. H., Shahar, F. S., Giernacki, W., Łukaszewicz, A., Nowakowski, M., Stępień, S. Power sources for unmanned aerial vehicles: a state-of-the-art, Applied Sciences, 13, 21, 11932, 2023.
9. Shakhatreh, H., Sawalmeh, A. H., Al-Fuqaha, A., Dou, Z., Almaita, E., Khalil, I., Guizani, M. Unmanned aerial vehicles (UAVs): A survey on civil applications and key research challenges, IEEE Access, 7, 48572–48634, 2019.
10. Hashim, H. A. Advances in UAV avionics systems architecture, classification and integration: A comprehensive review and future perspectives, Results in Engineering, 103786, 2024.
11. Zhang, Q., Furqan, M. D., Nutzhat, T., Machida, F., Andrade, E. Dependability of UAV-Based Networks and Computing Systems: A Survey, arXiv Preprint, arXiv:2506.16786, 2025.
12. Cavaco, N. T., Design and Assembly of a Ground Control Station for Long Range and Long Endurance UAVs, Yüksek Lisans Tezi, 2022.
13. Yaşa, Y. An Efficient Brushless DC Motor Design for Unmanned Aerial Vehicles, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 35, 288–294, 2022.
14. Lienkov, S., Myasischev, A., Sieliukov, O., Pashkov, A., Zhyrov, G., Zinchyk, A. Checking the flight stability of a rotary UAV in navigation modes for different firmware, CEUR Workshop Proceedings, 3126, 46–55, 2021.

15. Bin, H., Justice, A. The design of an unmanned aerial vehicle based on the ArduPilot, Indian Journal of Science and Technology, 2, 4, 12–15, 2009.
16. Lai, K. T., Chung, Y. T., Su, J. J., Lai, C. H., Huang, Y. H. AI Wings: An AIoT drone system for commanding ArduPilot UAVs, IEEE Systems Journal, 17, 2, 2213–2224, 2022.
17. Umar, M. F., Burham, N., Mohamad, R., Masrie, M., Markom, A. M., Hussin, H. Study of Drone Frame Performance for Surveillance using ANSYS, IEEE 22nd Student Conference on Research and Development (SCOReD), 84–89, 2024.
18. Kang, S. S., Singh, N. T., Grover, R. Improving drone agility and stability with advanced flight control systems using MPU-6050 IMU and high-fidelity simulation, International Conference on Cybernation and Computation (CYBERCOM), 121–127, 2024.
19. Banfield, C. P., Design and Development of a 3D Printed UAV, Yüksek Lisans Tezi, Oklahoma State University, Graduate College, Stillwater, 2015.
20. Moon, S. K., Tan, Y. E., Hwang, J., Yoon, Y. J. Application of 3D printing technology for designing light-weight unmanned aerial vehicle wing structures, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing–Green Technology, 1, 3, 223–228, 2014.
21. Banfield, C. P., Design and Development of a 3D Printed UAV, Yüksek Lisans Tezi, Oklahoma State University, Graduate College, Stillwater, 2015.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BİTKİLERİN EKSOJEN KOLESTEROL UYGULAMASINA KARŞI ANTİOKSİDATİF YANITLARI

Yunus TOPRAK
ORCID ID:0000-0002-0448-5119
Ataturk University, Faculty of Science, Department of Biology, Botany, 25240 Erzurum
Prof. Dr. Ökkeş ATICI
Ataturk University, Faculty of Science, Department of Biology, Botany, 25240 Erzurum
ORCID ID:0000-0001-6256-5101
Ebru GEZGİNCİOĞLU
Ataturk University, Faculty of Science, Department of Biology, Botany, 25240 Erzurum
ORCID ID:0009-0005-6281-8531

ÖZET

Kolesterol, canlı sistemlerde yapısal ve düzenleyici işlevleri bulunan önemli bir lipittir. Bitkilerin kolesterol içermediğine yönelik yaygın kanının aksine, son yıllarda yapılan çalışmalar bitkilerin düşük miktarlarda da olsa kolesterol sentezleyebildiğini ve hem serbest hem de esterlenmiş formlarını bünyelerinde bulundurduklarını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, kolesterolün bitkilerdeki fizyolojik ve biyokimyasal rollerine ilişkin bilgiler hâlen sınırlıdır. Özellikle dıştan uygulanan (ekzojen) kolesterolün bitki metabolizması üzerindeki etkilerini inceleyen çalışma sayısı yok denecek kadar azdır. Bu araştırmada, bitkilere uygulanan kolesterolün antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada model bitki olarak mısır (*Zea mays* L.) ve fasulye (*Phaseolus vulgaris* L.) kullanılmıştır. Steril edilen tohumlar torf–perlit karışımına ekilmiş ve kontrollü iklim odasında yetiştirilmiştir. Çimlenmenin 12. gününde bitkilere farklı konsantrasyonlarda kolesterol çözeltileri (0, 1, 5, 25, 50 ve 75 ppm) yapraktan uygulanmış; kontrol grubuna saf su verilmiştir. Uygulama sonrası bitkiler üç gün daha aynı koşullarda tutulmuş ve ardından hasat edilmiştir. Çalışılan bitki materyalinde antioksidan enzimlerden askorbat peroksidaz (APX) ve guaiakol peroksidaz (GPX) aktiviteleri belirlenmiştir. Sonuçlar, tüm kolesterol dozlarının mısır bitkisinde APX aktivitesini baskıladığını; buna karşılık fasulyede genelde arttırdığını göstermiştir. GPX aktivitesi ise her iki bitkide kolesterol uygulamasıyla yükselmiştir. Fasulyede en yüksek GPX aktivitesi 50 ppm uygulamasında elde edilirken, mısırda özellikle 5 ve 25 ppm uygulamalarında belirgin artışlar gözlenmiştir. Genel olarak bulgularımız, ekzojen kolesterolün bitkilerde antioksidan savunma sistemini modüle edebildiğini ve türlere özgü farklı tepkiler oluşturduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bitki, kolesterol, mısır, fasulye, antioksidan enzim

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ANTIOXIDATIVE RESPONSES OF PLANTS TO EXOGENOUS CHOLESTEROL APPLICATION

ABSTRACT

Cholesterol is an important lipid with structural and regulatory functions in living systems. Contrary to the common belief that plants do not contain cholesterol, recent studies have shown that plants are capable of synthesizing cholesterol, albeit in low amounts, and that they possess both free and esterified forms of this molecule. However, knowledge regarding the physiological and biochemical roles of cholesterol in plants remains limited. In particular, research examining the effects of exogenously applied cholesterol on plant metabolism is extremely scarce. In this study, we aimed to determine the effects of cholesterol application on the antioxidant defense system of plants. Maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) were used as model plant species. Surface-sterilized seeds were sown in a peat–perlite mixture and grown under controlled climate conditions. On the 12th day of germination, cholesterol solutions at different concentrations (0, 1, 5, 25, 50, and 75 ppm) were applied to the leaves, while the control group received distilled water. After the application, plants were maintained under the same conditions for three additional days and then harvested. Antioxidant enzymes, ascorbate peroxidase (APX) and guaiacol peroxidase (GPX) activities were analyzed in the harvested plant material. The results showed that all cholesterol doses suppressed APX activity in maize, whereas they generally increased APX activity in bean. In contrast, GPX activity increased in both species following cholesterol treatment. The highest GPX activity in bean was observed at 50 ppm, while maize showed pronounced increases, particularly at 5 and 25 ppm. Overall, our findings indicate that exogenous cholesterol can modulate the antioxidant defence system in plants and elicit species-specific responses.

Keywords: Plant, cholesterol, maize, bean, antioxidant enzyme

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GRAM NEGATİF BASİLLERDE ANTİBİYOTİK DİRENCİ: 2000 -2025 YILLARI ARASI KARŞILAŞTIRMALI BİR GENEL BAKIŞ

Antibiotic Resistance in Gram-Negative Bacilli: A Comparative Overview from 2000 to 2025

Doç. Dr. Kazım ŞAHİN

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/ Tıp Fakültesi

Kazim.sahin@erdogan.edu.tr - ORCID ID 0000-0001-6126-8287

ÖZET

Antibiyotik direnci özellikle Gram negatif bakterilerde, küresel sağlık için büyük bir tehdit olmaya devam etmektedir. Bu sunum, 2000 yılında yapılan bir çalışmada yer alan ve günümüz verileriyle karşılaştırılan önemli antibiyotiklerin, özellikle sefepim, seftazidim, seftriakson ve sefotaksimin Gram negatif basillerde gösterdiği direnç profillerini ele almaktadır. 2000 yılında yapılan çalışmada, test edilen suşlar arasında sefepime karşı direnç saptanmamış, en yüksek direnç Pseudomonas aeruginosa'da gözlemlenmiştir. Ancak günümüzde, karbapenem dirençli Klebsiella pneumoniae (CRKP) ve multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa gibi bakterilerde direnç oranlarının endişe verici bir şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca, Escherichia coli ve Enterobacter spp.'de extended-spectrum beta-lactamase (ESBL) üreten suşların yaygınlaşması da önemli bir sorundur. Bu sunum, son yirmi yılın direnç eğilimlerini, temel nedenlerini özetlemekte ve antimikrobiyal direncin önlenmesi için önerilerde bulunmaktadır. Antibiyotiklerin sorumlu kullanımı ve yeni tedavi seçeneklerine yönelik devam eden araştırmaların önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sefepim, Gram negatif basil, Antibiyotik direnci

ABSTRACT

Antibiotic resistance, particularly among Gram-negative bacteria, remains a significant global health threat. This presentation compares the resistance profiles of key antibiotics, such as cefepime, ceftazidime, ceftriaxone, and cefotaxime in Gram-negative bacilli, based on data from a study conducted in 2000, with current global trends. The 2000 study found no resistance to cefepime among the tested strains, with the highest resistance observed in Pseudomonas aeruginosa. In contrast, recent data highlights a worrying increase in resistance, particularly among Carbapenem-resistant Klebsiella pneumoniae (CRKP) and multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa. The rise of extended-spectrum beta-lactamase (ESBL) producers in Escherichia coli and Enterobacter spp. is also concerning. This presentation outlines the trends in resistance over the past two decades, the underlying causes, and provides recommendations for combating antimicrobial resistance. The importance of responsible antibiotic use and continued research into new treatments is emphasized.

Key Words: Cefepime, Gram-negative bacilli, Antibiotic resistance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GİRİŞ

Son zamanlarda *Enterobacter, Serratia* ve *Pseudomonas* türlerinde III. Kuşak sefalosporinlere direnç geliştiğini belirten araştırmalar mevcuttur (1,2). Bu suşlar genellikle kromozomal kaynaklı β- laktamaza sahip olup, çoğul β- laktam antibiyotik direnci gösterirler. Sefepim ve sefpirom gibi IV. kuşak sefalosporinlerin, üçüncü kuşak sefalosporinlere göre β- laktamaz üreten Gram negatif bakterilere daha etkili olduğu bildirilmiştir (3).

2000 yılında yapılan bu çalışmada yeni kullanıma giren sefepimin ve bazı üçüncü kuşak sefolosporinlerin en sık karşılaşılan *Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Pseudomonas aeruginosa, Enterobacter spp, Proteus spp* cinsi bakterilere karşı etkinliği araştırılarak, günümüz verileriyle karşılaştırılarak antibiyotik direncinin hangi durumda olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOD

Çeşitli klinik örneklerden izole edilen 60 adet *K.pneumoniae,* 100 adet *E.coli,* 100 adet *Enterobacter spp.,* 100 adet *P.aeruginosa,* 90 adet *Proteus spp.* olmak üzere toplam 450 suşun Çizelge 1'de görülen 5 antibiyotiğe karşı duyarlılıkları Kirby Bauer disk diffüzyon yöntemi ile incelenmiş. CLSI standartlarına uygun olarak yapılan bu çalışmada besiyeri olarak Muller Hinton agar kullanılmış (4). Orta derecede duyarlı suşlar dirençli kabul edilip, sefepim, seftazidim, seftizoksim, sefotaksim için < 14mm, seftriakson için <13 mm inhibisyon zon çapı oluşturan suşlar dirençli kabul edilmiş. Kontrol olarak *E.coli* ATCC-25922 ve *P.aeruginosa* ATCC-27853 suşları kullanılmış.

BULGULAR

2000 yılındaki yapılan bu çalışmada Gram negatif basillerde denenen antibiyotikler için saptanan dirençli suş sayıları ve oranları Çizelge 1'de gösterilmiş. Buna göre en yüksek direnç oranı *P.aeruginosa*'da gözlenmiştir. Bunu *K.pneumoniae* izlemiştir. Suşların tümü incelendiğinde Gram negatif çomaklarda sefepime direnç saptanmamıştır, en yüksek direncin ise seftriaksona karşı olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 1. Gram negatif çomaklarda antibiyotiklere dirençli suş oranları

	(n)	Sefepim		Seftazidim		Seftizoksim		Sefotaksim		Seftriakson	
		R	%	R	%	R	%	R	%	R	%
K. pneumoniae	60	0	0	6	10	13	22	13	22	15	25
E. coli	100	0	0	1	1	3	3	3	3	10	10
Enterobacter spp.	100	0	0	3	3	4	4	6	6	12	12
P. aeruginosa	100	0	0	12	12	20	20	21	21	30	30
Proteus spp.	90	0	0	0	0	2	3	3	4	5	6

TARTIŞMA

Gram negatif basillere karşı en etkin antibiyotik olarak sefepim bulundu. Bu antibiyotiğe karşı hiç direnç görülmezken en fazla direnç seftriaksona karşı bulunmuş. Sefitriaksona karşı direncin yüksek oluşu, cerrahi kliniklerde profilaktik veya tedavi amaçlı çok yaygın kullanılmasına bağlandı. Çalışmada *P.aeruginosa* suşlarında sefepim duyarlılığı % 100 iken ikinci sırada % 88 ile seftazidim bulunmuş. En fazla direnç % 30 ile seftriaksonda gözlenmiş.

Erdeniz H. ve ark. (5) yaptığı bir çalışmada *P.aeruginosa* için seftazidim direncini % 30, seftriakson direncini % 77, sefotaksim direncini % 83 bulmuşlardır. Fung-Tome J ve ark. (1) *P.aeruginosa* için seftazidim, sefoperazon, sefotaksime dirençli olan suşların % 94 oranında sefepime duyarlı olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer çalışmalarda da farklı sonuçlar olmakla birlikte sefepimin *P.aeruginosa* 'ya etkinliği üçüncü kuşak sefalosporinlerden daha yüksek veya seftazidime eşdeğer bulunmuştur (5-7).

E.coli'de etkinliği sefepim için % 100, seftriakson için en az olup, % 90 olarak tespit edilmiş. Erdeniz H. ve ark. (5) aynı bakteride duyarlılık oranını seftriakson için % 81 olarak tespit etmişlerdir. Antibiyotiklere duyarlılık-dirençlilik oranları; kullanılan antibiyotiklerin kullanım politikaları, rasyonel antibiyotik kullanımı ve o sağlık kurumunun dirençli suşları ile ilgili olarak bölgeden bölgeye hatta kurumdan kuruma farklılıklar göstermesine bağlı olabilir.
Enterobacter spp. için sefepim direnci saptanmazken, seftriaksonda % 12 oranında direnç saptandı. Yapılan çalışmalarda III. Kuşak sefalosporinler için benzer sonuçlar tespit edilmiştir (2,3).
K.pneumoniae'de sefepime direnç bulunmazken en fazla direnç % 25 ile seftriaksona karşı bulunmuş. Fung- Tome J ve ark. (1) aynı bakteri için sefepim direnci saptamazken, üçüncü kuşak sefalosporinler için direnç oranlarını daha yüksek tespit etmişlerdir. Bazı çalışmalarda aynı bakteri için aynı antibiyotik direnç oranları daha düşük rapor edilmiştir (6,7).
Proteus spp. için sefepim duyarlılığı seftazidim ile aynı olup, % 100 bulunurken direnç, yine en yüksek oranda seftriaksonda gözlendi (% 6).
Denenen tüm bakteriler β- laktam antibiyotikler göz önüne alındığında Gram negatif basillere en etkili antibiyotik sefepim, ikinci seftazidim bulunurken en az etkili antibiyotiğin seftriakson olduğu gözlenmiş.
Günümüz çalışmalarında; **karbapenem dirençli *P.aeruginosa***, birçok sağlık raporunda en yüksek direnç oranlarına sahip bakteriler arasında yer almaktadır. Direnç oranları **% 40-50** arasında değişmektedir. Bu direnç oranı, özellikle hastane enfeksiyonlarında tedavi seçeneklerini sınırlamaktadır (8-12).
Karbapenem dirençli *K.pneumoniae* (CRKP) son yıllarda ciddi bir küresel sağlık tehdidi oluşturmuş, özellikle **% 40-60** arasında direnç oranları rapor edilmiştir. CRKP, ciddi pnömoni ve sepsis gibi hastalıklarla ilişkilendirilmiş ve tedavi seçeneklerini zorlaştırmıştır (8,9).
***E.coli* (ESBL-Producing)** suşlarının, özellikle sefalosporinler ve diğer β-laktamlara karşı direnç geliştirdiği ve bu suşların ciddi enfeksiyonlara yol açabileceği vurgulanmaktadır. Direnç oranları **% 20-30** civarındadır ve bu, tedavi edilen enfeksiyonların daha karmaşık hale gelmesine neden olmaktadır (9,10).
Karbapenem dirençli *Enterobacter* suşlarının yaygınlığı artmıştır ve bu bakterilerdeki direnç oranları **% 20-40** arasında değişmektedir. Özellikle yoğun bakım ünitelerinde bu bakteriler önemli enfeksiyonlar yaratabilmektedir (10).

SONUÇ

Sonuç olarak IV. Kuşak sefalosporinlerden sefepim halen Gram negatif basillere etkili bir ajan olup, ciddi hastane infeksiyonlarında kültür-antibiyogram sonuçlarına göre diğer III. Kuşak sefalosporinlere direnç varsa tercih edilmelidir. III. Kuşak sefalosporinlerin direnci yüksek

bulunmuş olup bu antibiyotikler ampirik ve profilaktik amaçlı kullanılmamalı veya tedavi amaçlı kullanımında diğer antibiyotikler gibi kültür-antibiyogram sonuçları esas alınmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Fung-Tomc, J., Dougherty T.J., De Orio F.J., Simich-Jacobson, V., Kessler, R.E. Activity of cefepime against ceftazidime and cefotaxime resistant Gram-negative bacteria and its relationship to β-lactamase levels, *Antimicrob Agents Chemother 33: 499 (1989).*
2. Quinn JP, Divincezo AJ, Foster J: Emergence of resistance to ceftazidime during therapy for Enterobacter cloacae infections, *J Infect Dis 55: 942 (1987).*Çelebi S, Felek R. Aktaş O,
3. Hanock REW, Bellido F: Factors involved in the enhanced efficacy against Gram-negative bacteria of fourth generation cephalosporins, *J Antimicrob Chemother 29:1(1992).*Dinçer AD,
4. NCCLS: Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Test, 5. Baskı, Document M2-A5, Villanova (1993).
5. Erdeniz H, Derbentli Ş: Klinik örneklerden izole edilen Gram negatif çomak şeklindeki bakterilerde antibiyotik direnci, *ANKEM Derg 9 90 (1995).*
6. Giamarellou H: Low-dosage cefepime as treatment for serious bacterial infections, *JAM Chemother 32: 123 (1993).*
7. Bosso JA, Saxon BA, Matsen JM: Comperative activity of cefepime, alone and combination against clinical isolation of *Pseudomonas aeruginosa* and *P.cepecia* from cystic fibrosis patients, *J Antimicrob Agents Chemother 35 (4): 783 (1991).*
8. Centers for Disease Control and Prevention (CDC) - Antibiotic Resistance Threats in the United States 2019.
9. World Health Organization (WHO) - Antimicrobial Resistance (AMR) Report 2021.
10. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) - Antimicrobial Resistance Surveillance in Europe 2021.
11. The Lancet Infectious Diseases - Global Antimicrobial Resistance: A Threat to the Future of Modern Medicine (2021).
12. Antimicrobial Resistance (AMR) in Europe: Surveillance Report 2020 - European Commission.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MADDE BAĞIMLILIĞINA İLİŞKİN GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: ÇOK DİSİPLİNLİ BİR DERLEME

Doç. Dr. Serdar AYKUT
Çankırı Karatekin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Sosyal Hizmet Bölümü
serdaraykut@karatekin.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3317-0634

ÖZET

Madde bağımlılığı, bireyin fiziksel, psikolojik ve sosyal işlevselliğini olumsuz etkileyen, toplum sağlığı açısından önemli bir sorun olarak varlığını sürdürmektedir. Bu çalışma, madde bağımlılığına ilişkin güncel bilimsel yaklaşımları çok disiplinli bir perspektiften ele alarak alandaki temel eğilimleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, son yıllarda yayımlanan ulusal ve uluslararası akademik çalışmaların sistematik olmayan bir derlemesine dayanmaktadır. Literatür kapsamında madde bağımlılığının nedenleri, risk faktörleri, psikososyal etkileri, önleme stratejileri ve tedavi yaklaşımları incelenmiştir. Bulgular, madde bağımlılığının yalnızca bireysel bir sorun olmayıp aile, çevre, sosyoekonomik koşullar ve kültürel faktörlerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle gençler ve risk grupları üzerinde koruyucu ve önleyici müdahalelerin önem kazandığı, çok disiplinli iş birliklerinin etkili sonuçlar doğurduğu vurgulanmaktadır. Ayrıca biyopsikososyal modelin, bağımlılığın anlaşılması ve müdahale süreçlerinde temel bir çerçeve sunduğu görülmektedir. Sonuç olarak bu derleme, madde bağımlılığıyla mücadelede bütüncül, kanıta dayalı ve uygulamaya dönük yaklaşımların önemini ortaya koymakta; uygulamalı bilimler alanında çalışan araştırmacı ve uygulayıcılara yol gösterici bir kaynak sunmayı hedeflemektedir.
Anahtar Kelimeler: Madde bağımlılığı, bağımlılık, önleme, tedavi.

1. GİRİŞ

Madde bağımlılığı, günümüzde yalnızca bireyin fiziksel ve ruhsal sağlığını tehdit eden bir olgu olmaktan çıkmış; aile, toplumsal düzen, üretkenlik ve sosyal refah üzerinde belirleyici etkileri olan küresel bir halk sağlığı sorunu niteliği kazanmıştır. Dünya genelinde madde kullanımına ilişkin yaygınlık oranlarının artışı, kullanım yaşının giderek düşmesi ve eşlik eden ruhsal sorunların sık görülmesi, bağımlılığı disiplinler üstü bir sorun alanına dönüştürmektedir (UNODC, 2024). Bağımlılık yalnızca biyolojik bir kırılganlığın sonucu olarak değil, toplumsal

yapı, kültürel normlar ve sosyal eşitsizliklerle yakından ilişkili karmaşık bir süreç olarak ele alınmaktadır (Volkow, Koob & McLellan, 2016).

Bağımlılığa yönelik bilimsel çalışmalar, son yıllarda özellikle risk faktörlerinin belirlenmesi, önleyici programların etkinliği, klinik tedavi yaklaşımları ve sosyal uyum süreçlerinin desteklenmesine odaklanmaktadır. Bu çalışma, madde bağımlılığına ilişkin güncel bilimsel yaklaşımları çok disiplinli bir çerçevede ele almakta; bağımlılığın nedenleri, risk faktörleri, psikososyal sonuçları, önleme stratejileri, tedavi yaklaşımları ve Türkiye'de durumun genel değerlendirmesi üzerine odaklanmaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, son on yıl içinde yayımlanan ulusal ve uluslararası makaleler, kurumsal raporlar ve bilimsel yayınlara dayanan sistematik olmayan bir literatür derlemesidir. Çalışmada Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Birleşmiş Milletler Uyuşturucu ve Suç Ofisi (UNODC), Avrupa Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (EMCDDA) ve ulusal ölçekte Turkiye Uyuşturucu Raporları gibi güvenilir kaynaklar kullanılmıştır. Hakemli dergilerde yayımlanan bilimsel çalışmalar ayrıca değerlendirilmiştir.

3. MADDE BAĞIMLILIĞININ NEDENLERİ VE RİSK FAKTÖRLERİ

Bağımlılığın ortaya çıkışında genetik yatkınlık, nörobiyolojik duyarlılık, kişilik özellikleri, psikiyatrik eş tanılar ve özellikle ergenlik dönemine özgü risk alma davranışları rol oynamaktadır (NIDA, 2020). Çocukluk çağında yaşanan travmatik deneyimler, stresle baş etme becerilerinin zayıf olması ve dürtü kontrolünde güçlükler bağımlılık riskini artıran etmenler arasındadır.

Aile içi bağların zayıf olması, ebeveynlik tutumlarındaki yetersizlik, aile içi şiddet ve ihmal, ebeveyn veya akran çevresinde madde kullanımının normalleşmesi bağımlılık riskini artıran önemli çevresel faktörlerdir (Hawkins, Catalano & Miller, 1992). Akran baskısı ve sosyal destek eksikliği özellikle ergen ve genç erişkinler açısından belirleyici etkiye sahiptir.

Yoksulluk, işsizlik, sosyal dışlanma, kentleşme, göç deneyimleri ve toplumsal eşitsizlikler, bağımlılığı besleyen yapısal etkenler arasındadır (WHO, 2019). Bağımlılık bu nedenle yalnızca bireyin "tercihi" olarak ele alınamaz; toplumsal adalet ve sosyal politika perspektifiyle ele alınması gereken bir durumdur.

4. BAĞIMLILIĞIN PSİKOSOSYAL SONUÇLARI VE MADDE BAĞIMLILIĞINDA ÖNLEME STRATEJİLERİ

Madde kullanımı fiziksel sağlık sorunlarının yanı sıra ruh sağlığı üzerinde de ağır etkiler oluşturmaktadır. Depresyon, anksiyete, travma sonrası stres bozukluğu gibi psikiyatrik sorunların madde bağımlılığıyla birlikte daha sık görüldüğü bildirilmektedir (Kelly, Saitz & Wakeman, 2016).

Sosyal açıdan ise eğitim süreçlerinin kesintiye uğraması, aile içi ilişkilerin zedelenmesi, iş gücü kaybı, ekonomik güçlükler ve toplumsal dışlanma bağımlılığın yaygın sonuçları arasındadır. Toplumsal düzeyde suç, şiddet ve güvenlik sorunlarıyla ilişkili bir risk alanı oluşabilmektedir. Tüm bu sonuçlar bağımlılığın sağlık kadar sosyal refah, insan hakları ve sosyal hizmet bağlamında ele alınmasını gerektirmektedir.

Güncel bilimsel literatür, bağımlılıkla mücadelede en etkili yaklaşımın koruyucu ve önleyici müdahaleler olduğunu vurgulamaktadır. Okullarda yaşam becerileri programları, aile eğitimleri, gençlere yönelik risk farkındalığı çalışmaları ve toplum temelli müdahaleler önemli araçlar olarak öne çıkmaktadır (UNODC, 2018).

Erken müdahale programlarının risk düzeyi yüksek gruplara ulaşacak biçimde yapılandırılması, sosyal destek ağlarının güçlendirilmesi ve toplum temelli önleyici politikaların sürdürülebilir olması önem taşımaktadır. Özellikle gençlerde psikososyal dayanıklılığı artıran programların etkili sonuçlar verdiği bildirilmektedir.

5. TEDAVİ YAKLAŞIMLARI VE BİYOPSİKOSOSYAL MODEL

Bağımlılık tedavisinde farmakolojik tedaviler, psikoterapötik yaklaşımlar, rehabilitasyon programları ve toplumsal uyumu destekleyen hizmetler birlikte yürütülmektedir. Bilişsel davranışçı terapi, motivasyonel görüşme teknikleri, grup terapileri ve destekleyici psikososyal müdahaleler yaygın biçimde kullanılmaktadır.

Biyopsikososyal model, bağımlılığı yalnızca biyolojik bir hastalık olarak değil; psikolojik süreçler, sosyal roller, yaşam öyküsü ve çevresel faktörlerle birlikte değerlendiren kapsamlı bir çerçeve sunmaktadır (Volkow et al., 2016). Güncel çalışmalar disiplinler arası iş birliğinin tedavi başarısını artırdığını göstermektedir.

6. TÜRKİYE'DE MADDE BAĞIMLILIĞI: DURUM VE POLİTİKA

Türkiye'de son yıllarda özellikle genç nüfus içinde madde kullanımı önemli bir halk sağlığı konusu olarak gündemde yer almaktadır. Ulusal raporlar, bağımlılık riskinin daha görünür hâle geldiğini, ancak Türkiye'nin Avrupa ortalamasına kıyasla hâlâ daha düşük kullanım oranlarına sahip olduğunu göstermektedir (EMCDDA, 2024). Türkiye Uyuşturucu Raporları, kullanım

eğilimlerinin özellikle kent merkezlerinde ve genç erişkin gruplarda yoğunlaştığına işaret etmektedir (Türkiye Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi [TUBİM], 2023).
Türkiye'de bağımlılıkla mücadele çok sektörlü bir yapılanma ile yürütülmektedir. Sağlık Bakanlığı bünyesinde AMATEM ve ÇEMATEM merkezleri tedavi ve rehabilitasyon hizmetleri sunmakta, Yeşilay ve diğer sivil toplum kuruluşları önleme ve farkındalık çalışmalarında önemli rol üstlenmektedir.
Ulusal Strateji Belgeleri ve Türkiye Uyuşturucu ile Mücadele Eylem Planları, bağımlılıkla mücadelede önleme, tedavi, rehabilitasyon ve sosyal uyum süreçlerinin bütünleşik bir yaklaşımla ele alınmasını hedeflemektedir. Bununla birlikte hizmetlerin bölgesel dağılımındaki eşitsizlikler, erişilebilirlik sorunları ve rehabilitasyon sürecinin güçlendirilmesi gerekliliği literatürde sıklıkla vurgulanan konular arasındadır.
Türkiye bağlamında bağımlılık, yalnızca tıbbi bir tedavi alanı değil; sosyal hizmet, psikososyal destek ve aile danışmanlığı gerektiren bir sosyal sorun niteliği taşımaktadır. Aile temelli müdahalelerin güçlendirilmesi, gençlere yönelik koruyucu programların yaygınlaştırılması ve toplumsal damgalanmanın azaltılması öncelikli ihtiyaç alanları arasında yer almaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma bulguları, madde bağımlılığının yalnızca bireysel tercihlerle açıklanamayacağını; sosyal yapı, kültürel normlar, ekonomik koşullar ve toplumsal eşitsizliklerle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Tedavi odaklı yaklaşımların tek başına yeterli olmadığı, önleme politikalarının güçlendirilmesi gerektiği görülmektedir. Türkiye özelinde, hizmetlerin erişilebilirliğinin artırılması, rehabilitasyon ve sosyal uyum süreçlerinin desteklenmesi, istihdam ve eğitim bağlantılı programların geliştirilmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları doğrultusunda:

• Madde bağımlılığı çok boyutlu bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmalı,
• Önleme politikaları sağlık, eğitim ve sosyal hizmet alanlarını kapsayacak biçimde güçlendirilmelidir,
• Türkiye'de risk gruplarına yönelik erken müdahale programları yaygınlaştırılmalı,
• Toplum temelli rehabilitasyon, sosyal uyum ve istihdam odaklı programlar desteklenmelidir,
• Disiplinler arası iş birliği ve kanıta dayalı uygulamalar yaygınlaştırılmalıdır.

Bu doğrultuda çalışma, bağımlılıkla mücadelede bütüncül bakışın önemini vurgulamakta ve uygulayıcılar için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.

KAYNAKÇA

European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction (EMCDDA). (2024). European drug report 2024: Trends and developments. Luxembourg: Publications Office of the European Union. https://www.euda.europa.eu/system/files/documents/2024-06/edr-2024-compiled-pdf-14.06.2024v2.pdf

Hawkins, J. D., Catalano, R. F., & Miller, J. Y. (1992). Risk and protective factors for alcohol and other drug problems in adolescence and early adulthood: Implications for substance abuse prevention. Psychological Bulletin, 112(1), 64–105. https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.64

Kelly, J. F., Saitz, R., & Wakeman, S. (2016). Language, substance use disorders, and policy: The need to reach consensus on an "addiction-ary". Alcoholism Treatment Quarterly, 34(1), 116–123. https://doi.org/10.1080/07347324.2016.1113103

National Institute on Drug Abuse (NIDA). (2020). Drugs, brains, and behavior: The science of addiction. Bethesda: NIDA. https://nida.nih.gov/sites/default/files/soa_2014.pdf

Türkiye Uyuşturucu ve Uyuşturucu Bağımlılığı İzleme Merkezi (TUBİM). (2023). Türkiye uyuşturucu raporu 2023. Ankara: TUBİM. https://www.narkotik.pol.tr/kurumlar/narkotik.pol.tr/TUB%C4%B0M/Ulusal%20Yay%C4%B1nlar/2023_TURKIYE_UYUSTURUCU_RAPORU.pdf

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). (2018). International standards on drug use prevention. Vienna: UNODC. https://www.unodc.org/documents/prevention/UNODC-WHO_2018_prevention_standards_E.pdf

United Nations Office on Drugs and Crime (UNODC). (2024). World drug report 2024. Vienna: UNODC. https://www.unodc.org/documents/data-and-analysis/WDR_2024/PRESS_RELEASE_2024.pdf

World Health Organization (WHO). (2019). Alcohol and drug use disorders: Global health estimates. Geneva: WHO. https://www.who.int/publications/i/item/international-standards-for-the-treatment-of-drug-use-disorders

Volkow, N. D., Koob, G. F., & McLellan, A. T. (2016). Neurobiologic advances from the brain disease model of addiction. New England Journal of Medicine, 374(4), 363–371. https://doi.org/10.1056/NEJMra1511480

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FİZYOTERAPİDE TELE-REHABİLİTASYON

Dr. Öğr. Üyesi Gönül ELPEZE

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

gonulterapi@gmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/0000 0002 3534 9507

ÖZET

Teknolojinin hızla gelişmesi sebebiyle dijital sağlık uygulamaları sağlık hizmetlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından bu uygulamalar; sağlık hizmetlerinde bilişim ve iletişim teknolojilerinin hastalıkların önlenmesi, teşhis ve tedavi edilmesi, izlenmesi ve yönetilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu uygulamalar pandemi dönemi ile sıklıkla gündeme gelmiş olsada, son yıllarda kişilerin sağlık kuruluşlarına ve profesyonellerine daha kolay ulaşımını sağlaması bakımından önem kazanmıştır. Fizyoterapi alanında tele-değerlendirme ve tele-rehabilitasyon uygulamaları son dönemde sıklıkla kulanılmaktadır.

Telerehabilitasyon, terapötik müdahaleler, izleme, eğitim ve danışmanlık hizmetlerine uzaktan erişimi sağlamak için bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını ifade eder. Fizyoterapi alanında tele-rehabilitasyon; sağlıklı, sporcu, ampute rehabilitasyonunda, romatizmal hastalıklarda ağrı yönetiminde, omurga sağlığı, nörolojik rehabilitasyon (multiple skleroz, inme, Parkinson, kognitif disfonksiyon, travmatik beyin hasarı, spinal kord yaralanmaları), kardiyopulmoner rehabilitasyon, pediatrik rehabilitasyon (serebral palsi, müsküler distrofiler, spina bifida, otizm), kadın sağlığında uygulanmaktadır. Bu alanlarda ihtiyaca bağlı olarak fizyoterapist, hastaya ulaşma sorunu olmadan egzersiz programları, programların eğitimleri, günlük yaşamda öz yönetim stratejileri, öz yeterliliklerin belirlenmesi, fonksiyonelliğe yönelik öneriler sunabilmektedir.

Hastalara rehabilitasyon hizmetlerinin evlerinde, ergonomik olarak gerçek yaşam alanlarında sunulmuş olması hastanın tedaviye aktif bir ortak olarak katılımını ve uyumunu arttırmaktadır. Ayrıca hem fizyoterapistin hem de hastanın ulaşım ile ilgili; süre, transfer ve mesafe gibi faktörler açısından avantaj sağlayarak maliyetleri düşürmektedir. Tele-rehabilitasyon da senkronize olarak video-konferans, uzaktan izlemeve depola-ilet görüntüleme ve asenkronize olarak depola-ilet gibi teknoloji yöntemleri kullanılabilir. Bu sayede hasta ve fizyoterapist açısından tüm bu paylaşımlar, belirli saatlerin oluşturulmasına gerek kalmadan ve daha az internet bağlantısı kullanılarak yapılmaktadır.

Tele-rehabilitasyonun, artan teknolojik imkanlarla erişilebilirliği ve düşük maliyet çıktıları ile gelecekte gelişmeye devam edeceği öngörülmektedir. Kanıta dayalı metodolojilerin uygun maliyetli ve kolay kullanılabilen uygulamalarla birleşimi, tele-rehabilitasyon hizmetlerinin geliştirilmesi ve genişletilmesi için önem göstermektedir.

Anahtar kelimeler: tele-rehabilitasyon, fizyoterapi, rehabilitasyon

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TELE-REHABILITATION IN PHYSIOTHERAPY

ABSTRACT

Due to the rapid development of technology, digital health applications are being increasingly utilized in healthcare services. The World Health Organization defines these applications as the use of information and communication technologies in healthcare for the prevention, diagnosis, treatment, monitoring, and management of diseases. While these applications have frequently come to the fore during the pandemic, they have gained importance in recent years for providing individuals with easier access to healthcare institutions and professionals. Tele-assessment and tele-rehabilitation applications have become increasingly popular in the field of physiotherapy.

Tele-rehabilitation refers to the use of information and communication technologies to provide remote access to therapeutic interventions, monitoring, education, and counseling services. Tele-rehabilitation in the field of physiotherapy: It is used in healthy, athletic, amputee rehabilitation, pain management in rheumatic diseases, spine health, neurological rehabilitation (multiple sclerosis, stroke, Parkinson's, cognitive dysfunction, traumatic brain injury, spinal cord injuries), cardiopulmonary rehabilitation, pediatric rehabilitation (cerebral palsy, muscular dystrophies, spina bifida, autism), and women's health. In these areas, depending on the need, the physiotherapist can offer exercise programs, program training, self-management strategies for daily life, self-efficacy assessment, and functionality recommendations without any access issues.

Providing rehabilitation services to patients in their homes, in ergonomically designed real-life spaces, increases the patient's active participation in treatment and compliance. It also reduces costs by providing advantages for both the physiotherapist and the patient in terms of transportation time, transfer, and distance. Telerehabilitation can utilize technological methods such as synchronous video conferencing, remote monitoring, and store-and-forward imaging, as well as asynchronous store-and-forward. This allows for shared experiences for both the patient and the physiotherapist, eliminating the need for specific hours and requiring less internet connection.

Telerehabilitation is anticipated to continue to develop in the future, driven by its accessibility and low cost, thanks to increasing technological advancements. The combination of evidence-based methodologies with affordable and easy-to-use applications is crucial for the development and expansion of telerehabilitation services.

Keywords: telerehabilitation, physiotherapy, rehabilitation

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FİZYOTERAPİDE TELE-REHABİLİTASYON

GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesi, sağlık profesyonellerinin bu değişimlere uyum sağlamalarına ve sağlık hizmetlerini yeni ve uzaktan bir şekilde sunmalarına olanak tanımaktadır. Son zamanlarda, hem tıp hem de halk sağlığı alanlarında telefon, tablet ve akıllı telefon gibi mobil cihazların kullanıldığı görülmektedir (Altilio et al., 2015; Dicianno et al., 2015). Teknoloji tabanlı uygulamalara ve daha spesifik olarak akıllı telefon tabanlı uygulamalara geçiş, sağlık profesyonellerinin çeşitli hasta gruplarıyla etkili bir şekilde iletişim kurması ve onları tedavi etmesi için son derece önemli adım olarak yorumlanmaktadır. Terapi ve rehabilitasyon programlarına uyumsuzluğun yaygın olması nedeniyle, terapötik uyum, uzun yıllardır klinik bir endişe konusu olmaktadır (Li, 2008). Teknolojideki son gelişmelerin, tedavi sonuçlarını iyileştirmeye yardımcı olabileceği öne sürülmektedir.

Son yıllarda teknolojinin, en son tedavilerin sağlanmasındaki gelişmelerden spesifik müdahalelerin fiilen uygulanmasına kadar tıbbi rehabilitasyonun tüm yönlerine katkı sağladığı görülmektedir. Tele-rehabilitasyon, insanlara evlerinde veya diğer ortamlarda uzaktan rehabilitasyon hizmetleri sunmak için bilgi ve iletişim teknolojilerin kullanımını ifade etmektedir (Brennan et al., 2009). Bu hizmetler, terapötik müdahaleler, ilerlemenin uzaktan izlenmesi, eğitim, danışmanlık ve öğretim olarak sıralanabilir(Theodoros & Russell, 2008).

Teknolojinin rehabilitasyon hizmetlerini sunmak için kullanılmasının yalnızca klinisyenler için değil, aynı zamanda hastalar için de birçok faydası bulunmaktadır. Fizyoterapi ev egzersiz programlarına özgü olarak, akıllı telefon uygulamaları, tedavi süreci boyunca hem fizyoterapistin hem de hastanın aktif katılımını teşvik eden yeni ve gelişmekte olan bir fizyoterapi uygulama yöntemi sunmaktadır (McCue et al., 2010). Hastaya kişisel bir özerklik ve güçlenme duygusu sağlayarak, rahatsızlıklarının yönetiminde kontrolü ele almalarını sağlar (Brennan et al., 2009; Levy et al., 2015). Özünde, bakımlarında pasif bir katılımcı olmaktan ziyade aktif bir ortak haline gelirler. Uzak bölgelerdeki veya fiziksel engellilikle ilişkili hareket kabiliyeti sorunları olan bireyler için bakıma erişim, ulaşım ve sosyoekonomik faktörlere erişim sağlar (Theodoros & Russell, 2008). Ayrıca, hem sağlık hizmeti sağlayıcısı hem de hasta için ilişkili seyahat maliyetlerini ve seyahat süresini azaltır (Kairy et al., 2009). Tele-rehabilitasyon yaygınlaştıkça, hastanın bakım sürekliliği iyileşir. Bu, klinisyenlerin tıbbi ortamın dışında hasta bakımına uzaktan katılımını ve hizmetini sağlamasını mümkün kılar ve böylece klinisyen ile hasta arasındaki mesafe sorununu ortadan kaldırır (Brennan et al., 2009). Rehabilitasyonun hastanın kendi sosyal ve mesleki ortamında sürdürülmesi fırsatı, daha iyi işlevsel sonuçlara yol açmalıdır (Temkin et al., 1996).

Yaşlı nüfusun artması, kronik sağlık sorunlarına sahip kişi sayısında bir yükselişe neden olduğu görülmektedir (Dexter et al., 2010). Kronik sağlık sorunları tedaviye talebi arttırmakta ve bu sebeple sağlık maliyetleri de artış göstermektedir (Herbert et al., 2017; Cramer et al., 2019; Cracknell, n.d.). Tele-sağlık uygulamalarının sağlık hizmetlerine entegre edilmesiyle bu maliyetlerin azaltılacağı düşünülmektedir (Cottrell et al., 2017). Tele-rehabilitasyon uygulamasının incelendiği bir araştırmada, patolojiye ait bulgularda iyileşme olduğu ve maliyet sonuçlarının yatarak tedaviyle karşılaştırıldığında %58'lik bir düşüş olduğu rapor edilmektedir

(Körtke et al., 2006). Bu durum, öz yönetim stratejileri ve teknolojilerinin dahil edilmesiyle rehabilitasyon hizmetlerinin sunumunda değişiklikler yapılması ihtiyacını vurgulamaktadır

TELE-REHABİLİTASYON UYGULAMALARI

Tele-rehabilitasyon, terapötik müdahaleler, izleme, eğitim ve danışmanlık hizmetlerine uzaktan erişimi sağlamak için bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanımını ifade etmektedir

Genel olarak, tele-rehabilitasyonun etkinliğini inceleyen sistematik derlemelerde, hastanın tele-rehabilitasyona bakış açısını, önemli klinik sonuçları olan olumlu bir deneyim olarak raporlamaktadır (Cottrell et al., 2017). Çalışmalar, mevcut uygulamaları dönüştürecek ve tele-rehabilitasyonu sağlık hizmetlerindeki yerini belirlemek için yeni ve yenilikçi teknolojiler geliştirmeye ve kullanmaya devam etmektir (Fiani et al., 2020).

Literatürde, tele-rehabilitasyona yönelik ilk araştırmaların, takip sağlamak ve öz değerlendirme ölçümleri uygulamak için telefonların kullandığı küçük pilot çalışmalarla başlatıldığı bilinmektedir (Korner-Bitensky & Wood-Dauphinee, 1995). Daha sonraki yıllarda (1980), tele-rehabilitasyon danışan kullanımı ve etkileşimi için önceden kaydedilmiş video materyallerinin kullanımıyla devam ettiği görülmektedir. Nihayetinde günümüzde ise canlı etkileşimli video konferans uygulamalarının başladığı görülmektedir (Anton et al., 2018; Brennan et al., 2004; Mashima & Doarn, 2008).

Video konferans kullanımı, konsültasyonların, tanı, değerlendirmelerin ve müdahalelerin sağlanmasının yanı sıra katılımcılar arasında sözlü ve görsel etkileşimin sağlanmasına da olanak tanımaktadır. Video konferans yönteminin sağlık hizmetlerinde ve tele-rehabilitasyonda potansiyel kullanımları, yapılan araştırmalarda bilimsel kanıt düzeyine dayandırılmaktadır. Tele-rehabilitasyon uygulamalarında, katılımcının fiziksel performansının, hareket açıklığının ve yürüyüş gibi ölçümlerin yapılamaması gibi sorunlarla karşılaşılmaktadır. Araştırmacılar, katılımcının fiziksel performansını nesnel olarak ölçebilen ölçüm araçlarının sürece dahil edilmesiyle aşılacağını öne sürmektedirler (Theodoros & Russell, 2008). Ev içi sensör ve uzaktan izleme teknolojileri kullanılarak bu yeni ve yenilikçi teknolojilerinin faydaları daha da artırılmaktadır (Brennan et al., 2009; Chen et al., 2015; Levy et al., 2015). Bu gelişmeler, hasta ve rehabilitasyon uzmanı tarafından evde egzersiz takibi yapılmasına olanak tanırken, aynı zamanda uzmanın hastanın belirli egzersiz programlarına uyumunu takip etmesini de mümkün kılmaktadır (Parmanto & Saptono, 2009; Zheng et al., 2005). Russell ve ark. (2011) tarafından yürütülen randomize kontrollü bir çalışmada, total diz protezi uygulanmış hastalara tele-rehabilitasyon sistemi ile geleneksel fizyoterapi yönteminin etkinliği karşılaştırıldı. Hastaların sağlanan tele-rehabilitasyon tedavisinden memnun kaldıkları rapor edildi (Russell et al., 2011).

Son yıllarda akıllı telefonlar sağlık alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, insanların ihtiyaç duyduğu anda ve yerde tıbbi destek sağlama fırsatı sunmaktadır. Akıllı telefon sahiplerinin yarısının cihazlarını sağlık bilgileri almak için kullandığı (Kamel Boulos et al., 2014) ve akıllı telefon kullanıcılarının beşte birinin sağlıkla ilgili uygulamaları kullandığı bildirildi (Borresen et al., 2019; Fox S, n.d.). Sağlık çalışanları, tıp öğrencileri, hastalar ve genel halk için çok çeşitli mobil uygulamalar mevcuttur (Kamel Boulos et al., 2014; Pramuka & Van Roosmalen, 2009).

SONUÇLAR

Teknoloji ve mobil sağlık uygulamalarının sürekli gelişmesiyle birlikte, gelecek nesil fizyoterapistler, fizyoterapiyi hastayla etkileşimli bir ortam haline getirmek için teknolojideki gelişen değişikliklerin farkında olmalıdır. Bu, motivasyonu artıracak ve evde egzersiz programına katılımı kolaylaştıracaktır. Fizyoterapi uygulamalarının yeni yüzü, gelişmiş iletişim, hedef belirleme ve ilerleme raporlama araçları aracılığıyla öz yeterlilik ve davranış değişikliğini destekleyen etkileşimli bir egzersiz ortamı oluşturarak hasta uyumunu kolaylaştırabilir. Araştırmalarda da vurgulandığı gibi davranış değişikliği modelleri ile akıllı telefon uygulamaları arasında birçok bağlantı kurulabilir, ancak çalışma tasarımları ve uygulamaları açısından geniş çeşitlilik nedeniyle, cep telefonu tabanlı stratejilerin fiziksel aktivite davranışı üzerindeki potansiyel etkilerini tam olarak belirlemek zordur (Monroe et al., 2015). Ayrıca, akıllı telefon uygulamalarının sağlık davranışlarını iyileştirmedeki etkinliği, gelişmekte olan bir araştırma alanıdır (Kirwan et al., 2012). Bu nedenle, yeni olarak gelişen bu tür fizyoterapi uygulamalarına ve hasta davranış değişikliği ile hasta deneyimi üzerindeki etkisine odaklanmak için gelecekte araştırmalara ihtiyaç vardır. Araştırma ayrıca, rehabilitasyon ve ev egzersiz programlarındaki gelişmeleri belirlemek için bu uygulamalar aracılığıyla uygulanan fizyoterapi programlarını da hedeflemelidir.

KAYNAKÇA

Altilio, R., Liparulo, L., Panella, M., Proietti, A., & Paoloni, M. (2015). Multimedia and Gaming Technologies for Telerehabilitation of Motor Disabilities [Leading Edge]. *IEEE Technology and Society Magazine*, *34*(4), 23–30. https://doi.org/10.1109/MTS.2015.2494279

Anton, D., Berges, I., Bermúdez, J., Goñi, A., & Illarramendi, A. (2018). A Telerehabilitation System for the Selection, Evaluation and Remote Management of Therapies. *Sensors*, *18*(5), 1459. https://doi.org/10.3390/s18051459

Borresen, A., Wolfe, C., Lin, C.-K., Tian, Y., Raghuraman, S., Nahrstedt, K., Prabhakaran, B., & Annaswamy, T. (2019). Usability of an Immersive Augmented Reality Based Telerehabilitation System with Haptics (ARTESH) for Synchronous Remote Musculoskeletal Examination. *International Journal of Telerehabilitation*, *11*(1), 23–32. https://doi.org/10.5195/ijt.2019.6275

Brennan, D. M., Georgeadis, A. C., Baron, C. R., & Barker, L. M. (2004). The Effect of Videoconference-Based Telerehabilitation on Story Retelling Performance by Brain-Injured Subjects and Its Implications for Remote Speech-Language Therapy. *Telemedicine Journal and E-Health*, *10*(2), 147–154. https://doi.org/10.1089/tmj.2004.10.147

Brennan, D. M., Mawson, S., & Brownsell, S. (2009). Telerehabilitation: enabling the remote delivery of healthcare, rehabilitation, and self management. *Studies in Health Technology and Informatics*, *145*, 231–248. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19592797

Chen, J., Jin, W., Zhang, X.-X., Xu, W., Liu, X.-N., & Ren, C.-C. (2015). Telerehabilitation Approaches for Stroke Patients: Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, *24*(12), 2660–2668. https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.09.014

Cottrell, M. A., Galea, O. A., O'Leary, S. P., Hill, A. J., & Russell, T. G. (2017). Real-time telerehabilitation for the treatment of musculoskeletal conditions is effective and comparable to standard practice: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, *31*(5), 625–638. https://doi.org/10.1177/0269215516645148

Cramer, S. C., Dodakian, L., Le, V., See, J., Augsburger, R., McKenzie, A., Zhou, R. J., Chiu, N. L., Heckhausen, J., Cassidy, J. M., Scacchi, W., Smith, M. T., Barrett, A. M., Knutson, J., Edwards, D., Putrino, D., Agrawal, K., Ngo, K., Roth, E. J., … Janis, S. (2019). Efficacy of Home-Based Telerehabilitation vs In-Clinic Therapy for Adults After Stroke. *JAMA Neurology*, *76*(9), 1079. https://doi.org/10.1001/jamaneurol.2019.1604

Dexter, P. R., Miller, D. K., Clark, D. O., Weiner, M., Harris, L. E., Livin, L., Myers, I., Shaw, D., Blue, L. A., Kunzer, J., & Overhage, J. M. (2010). Preparing for an aging population and improving chronic disease management. *AMIA ... Annual Symposium Proceedings. AMIA Symposium*, *2010*, 162–166. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21346961

Dicianno, B. E., Parmanto, B., Fairman, A. D., Crytzer, T. M., Yu, D. X., Pramana, G., Coughenour, D., & Petrazzi, A. A. (2015). Perspectives on the Evolution of Mobile (mHealth) Technologies and Application to Rehabilitation. *Physical Therapy*, *95*(3), 397–405. https://doi.org/10.2522/ptj.20130534

Fiani, B., Siddiqi, I., Lee, S. C., & Dhillon, L. (2020). Telerehabilitation: Development, Application, and Need for Increased Usage in the COVID-19 Era for Patients with Spinal Pathology. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.10563

Fox S, D. M. (n.d.). *Mobile Health 2012. Washington, DC, Pew Research Center's Internet & American Life Project 2012. Available at http://pewinternet.org/~/media//Files/Reports/2012/PIP_MobileHealth2012_FINAL.pdf*.

Herbert, M. S., Afari, N., Liu, L., Heppner, P., Rutledge, T., Williams, K., Eraly, S., VanBuskirk, K., Nguyen, C., Bondi, M., Atkinson, J. H., Golshan, S., & Wetherell, J. L. (2017). Telehealth Versus In-Person Acceptance and Commitment Therapy for Chronic Pain: A Randomized Noninferiority Trial. *The Journal of Pain*, *18*(2), 200–211. https://doi.org/10.1016/j.jpain.2016.10.014

Kairy, D., Lehoux, P., Vincent, C., & Visintin, M. (2009). A systematic review of clinical outcomes, clinical process, healthcare utilization and costs associated with telerehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, *31*(6), 427–447. https://doi.org/10.1080/09638280802062553

Kamel Boulos, M. N., Brewer, A. C., Karimkhani, C., Buller, D. B., & Dellavalle, R. P. (2014). Mobile medical and health apps: state of the art, concerns, regulatory control and certification. *Online Journal of Public Health Informatics*, *5*(3). https://doi.org/10.5210/ojphi.v5i3.4814

Kirwan, M., Duncan, M. J., Vandelanotte, C., & Mummery, W. K. (2012). Using Smartphone Technology to Monitor Physical Activity in the 10,000 Steps Program: A Matched Case–Control Trial. *Journal of Medical Internet Research*, *14*(2), e55. https://doi.org/10.2196/jmir.1950

Korner-Bitensky, N., & Wood-Dauphinee, S. (1995). BARTHEL INDEX INFORMATION ELICITED OVER THE TELEPHONE: Is It Reliable? *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *74*(1), 9–18. https://doi.org/10.1097/00002060-199501000-00003

Körtke, H., Stromeyer, H., Zittermann, A., Buhr, N., Zimmermann, E., Wienecke, E., & Körfer, R. (2006). New East–Westfalian Postoperative Therapy Concept: A Telemedicine Guide for the Study of Ambulatory Rehabilitation of Patients after Cardiac Surgery. *Telemedicine and E-Health*, *12*(4), 475–483. https://doi.org/10.1089/tmj.2006.12.475

Levy, C. E., Silverman, E., Jia, H., Geiss, M., & Omura, D. (2015). Effects of physical therapy delivery via home video telerehabilitation on functional and health-related quality of life outcomes. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *52*(3), 361–370. https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.10.0239

Li, S.-C. (2008). Factors affecting therapeutic compliance: A review from the patient’s perspective. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, *Volume 4*, 269–286. https://doi.org/10.2147/TCRM.S1458

Mashima, P. A., & Doarn, C. R. (2008). Overview of Telehealth Activities in Speech-Language Pathology. *Telemedicine and E-Health*, *14*(10), 1101–1117. https://doi.org/10.1089/tmj.2008.0080

McCue, M., Fairman, A., & Pramuka, M. (2010). Enhancing Quality of Life through Telerehabilitation. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, *21*(1), 195–205. https://doi.org/10.1016/j.pmr.2009.07.005

Monroe, C. M., Thompson, D. L., Bassett, D. R., Fitzhugh, E. C., & Raynor, H. A. (2015). Usability of Mobile Phones in Physical Activity–Related Research: A Systematic Review. *American Journal of Health Education*, *46*(4), 196–206. https://doi.org/10.1080/19325037.2015.1044141

Parmanto, B., & Saptono, A. (2009). Telerehabilitation: State-of-the-Art from an Informatics Perspective. *International Journal of Telerehabilitation*, 73–84. https://doi.org/10.5195/ijt.2009.6015

Pramuka, M., & Van Roosmalen, L. (2009). Telerehabilitation Technologies: Accessibility and Usability. *International Journal of Telerehabilitation*, 85–98. https://doi.org/10.5195/ijt.2009.6016

R., C. (n.d.). *The ageing population. House of Commons Library Research. 2010.*

Russell, T. G., Buttrum, P., Wootton, R., & Jull, G. A. (2011). Internet-Based Outpatient Telerehabilitation for Patients Following Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume*, *93*(2), 113–120. https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01375

Temkin, A. J., Ulicny, G. R., & Vesmarovich, S. H. (1996). Telerehab. A perspective of the way technology is going to change the future of patient treatment. *Rehab Management*, *9*(2), 28–30. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10166562

Theodoros, D., & Russell, T. (2008). Telerehabilitation: current perspectives. *Studies in Health Technology and Informatics*, *131*, 191–209. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18431862

Zheng, K., Padman, R., Johnson, M. P., & Diamond, H. S. (2005). Understanding technology adoption in clinical care: Clinician adoption behavior of a point-of-care reminder system. *International Journal of Medical Informatics*, *74*(7–8), 535–543. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2005.03.007

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SKOLYOZ DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN MOBİL UYGULAMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Gönül ELPEZE

Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü

gonulterapi@gmail.com

ORCID ID: https://orcid.org/0000 0002 3534 9507

ÖZET

Skolyoz, omurganın üç düzlemde vertebraların eğriliği ve rotasyonu olarak gerçekleşen spinal bir deformitedir. Skolyoz primer veya başka bir patolojiye bağlı olarak sekonder olarak görülebilir. Yaşlılıkta, gençlerde ve ergenlik döneminde yanlış duruşa bağlı olarak gelişebilmektedir. Skolyoz baş ve gövde postürünü, eklem hareketlerini, kas kuvvetini ve esnekliği etkilemektedir. Skolyozun biyomekanik etkileri yalnızca omurga ile sınırlı kalmayıp, omuz kuşağı, pelvik hizalanma, gövde simetrisi, denge ve solunum fonksiyonlarını da önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Skolyozlu bireylerde azalan yaşam memnuniyeti seviyesi ve benlik saygısı sıklıkla fiziksel bozukluklarla ilişkilidir. Bu durum ciddi duygusal ve psikolojik etkilere sebep olabilir; fiziksel durum ve yaşam kalitesi algısının bozulmasına yol açar.

Skolyozun tedavisinde konservatif ve cerrahi yöntemler bulunmaktadır. Eğriliğin derecesine, bireyin yaşı ve büyüme potansiyeline göre tedavi planı şekillendirilir. Konservatif tedavi yaklaşımları arasında ortez kullanımı, özel egzersiz programları, solunum terapileri ve manuel terapi teknikleri yer almaktadır. Skolyoz açısı Cobb yönteminde eğriliğin > 10° olarak ölçülmesiyle belirlenir. Skolyoz tanısı için altın standart X-grafide koronal düzlemde omurga eğriliğini değerlendirildiği Cobb açısıdır. Eğimölçerler, 2B ve 3B görüntüler vertebraların transvers düzlemde yaptığı rotasyon açıları ölçmek için kullanılır. Skolyometre ile ölçülen gövde rotasyon açısı, gövdenin yatay düzleme göre eğimini yansıtır. Değerlendirmeler sonucunda skolyoz eğrisinin ilerlemesini takip edilerek hastanın, reçete edilen rehabilitasyon programının izlenmesi gerekmektedir. Takiplerin skolyoz derecesi, hastanın beklentisi ve fizyoterapistin hedefleri doğrultusunda sürdürülmesi gerekir. Bu durum uzun zaman alabilmektedir.

Teknolojik gelişmeler, akıllı telefonların taşınabilirliği ve kolay kullanım sağlayan uygulamalar ile skolyozun değerlendirmesinde mobil uygulamalar geliştirilmektedir. Uygulamalar kullanılarak yapılan skolyoz değerlendirmesi, hastaların skolyoz eğrisinin uzaktan izlenmesini kolaylaştırarak zamandan ve paradan tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Uygulamaların güvenilirliği ve Cobb açısı ile tutarlılıklarının sağlanması için kanıta dayalı araştırmalar yapılmaktadır. Uygulamalar sayesinde anında geri bildirim sağlanarak rehabilitasyon programının doğruluğu ve etkinliği kontrol edilebilmektedir. Ayrıca mobil değerlendirme uygulamaları sayesinde kişilerin radyasyon maruziyeti ve tıbbi ziyaret sayısının düşürülmesi sağlanacaktır.

Anahtar kelimeler: skolyoz, mobil, değerlendirme

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MOBİLE APPLİCATİONS USED İN SCOLİOSİS ASSESSMENT

ABSTRACT

Scoliosis is a spinal deformity characterized by the curvature and rotation of the vertebrae in three planes of the spine. Scoliosis can occur primarily or secondary to another pathology. It can develop in old age, adolescence, and adolescence due to poor posture. Scoliosis affects head and trunk posture, joint movement, muscle strength, and flexibility. The biomechanical effects of scoliosis are not limited to the spine; they can also significantly affect the shoulder girdle, pelvic alignment, trunk symmetry, balance, and respiratory functions. Decreased life satisfaction and self-esteem in individuals with scoliosis are often associated with physical impairments. This can have serious emotional and psychological effects, leading to a deterioration in physical condition and quality of life.

Conservative and surgical methods are available for the treatment of scoliosis. The treatment plan is tailored to the degree of the curvature, the individual's age, and growth potential. Conservative treatment approaches include the use of orthoses, specialized exercise programs, respiratory therapies, and manual therapy techniques.

The threshold for scoliosis diagnosis is determined by measuring a Cobb angle of >10°. The gold standard for scoliosis diagnosis is the Cobb angle, which assesses spinal curvature in the coronal plane on an X-ray. Inclinometers, 2D and 3D images, are used to measure the rotation angles of the vertebrae in the transverse plane. The trunk rotation angle measured by the scoliometer reflects the inclination of the trunk relative to the horizontal plane. As a result of these assessments, the progression of the scoliosis curve should be monitored, and the patient should follow the prescribed rehabilitation program. Follow-up should be continued in line with the degree of scoliosis, the patient's expectations, and the physiotherapist's goals. This can be time-consuming.

With technological advances, the portability of smartphones, and easy-to-use apps, mobile applications are being developed for scoliosis assessment. Scoliosis assessment using these apps facilitates remote monitoring of patients' scoliosis curves, saving time and money. Evidence-based research is being conducted to ensure the reliability of these apps and their consistency with the Cobb angle. These apps provide instant feedback, allowing for the accuracy and effectiveness of the rehabilitation program to be verified. Furthermore, mobile assessment apps will reduce individual radiation exposure and the number of medical visits.

Keywords: scoliosis, mobile, assessment

SKOLYOZ DEĞERLENDİRMESİNDE KULLANILAN MOBİL UYGULAMALAR

GİRİŞ

Skolyoz, her hangi bir nedene bağlı olarak, koronal planda anormal spinal eğri oluşumu ve vertebraların rotasyonuyla karakterize bir deformite olarak tanımlanır (Neumann, n.d.). Skolyoz, omurganın üç düzlemde karmaşık bir deformitesini ifade eder. Frontal düzlemde omurganın eğrilik açısının ve yatay düzlemde meydana gelen rotasyon açısının ölçülmesiyle teşhis edilir (Illés et al., 2019). Omurga eğriliğinin açısı radyolojik görüntü üzerinde Cobb yöntemi ile yapılan ölçüm ile belirlenir. Açısal değerin >10° olarak ölçülmesi skolyoz varlığını tanımlar. Cobb yöntemi skolyoz açı derecesinin belirlenmesinde altın standart olarak kabul edilmektedir.

Yaşam boyunca farklı dönemlerde ortaya çıkabilen birçok farklı skolyoz türü vardır. Yetişkin popülasyonlar açısından üç ana skolyoz türü tanımlanmıştır: tip I - primer skolyoz; tip II - progresif idiyopatik skolyoz; veya tip III - (a) omurga, gövde veya ekstremitelerde bulunan primer anomaliye yanıt olarak ortaya çıkan sekonder dejeneratif skolyoz veya (b) asimetrik artrit veya vertebral kırıkla birlikte kemik metabolizmasını etkileyebilecek herhangi bir sistemik durum (Lenz et al., 2021). Daha önce skolyoz öyküsü olmayan hastalarda gelişen primer skolyoz (PS), genellikle aksiyel sırt ağrısıyla birlikte görülen duruş bozukluğuyla kendini gösterir (Sun et al., 2019).

Skolyoz baş ve gövde postürünü, eklem hareketlerini, kas kuvvetini ve esnekliği etkilemektedir (Dolan et al., 2019). Skolyozun biyomekanik etkileri yalnızca omurga ile sınırlı kalmayıp, omuz kuşağı, pelvik hizalanma, gövde simetrisi, denge ve solunum fonksiyonlarını da önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Negrini et al., 2018). Skolyozlu bireylerde azalan yaşam memnuniyeti seviyesi ve benlik saygısı sıklıkla fiziksel bozukluklarla ilişkilidir. Bu durum ciddi duygusal ve psikolojik etkilere sebep olabilir; fiziksel durum ve yaşam kalitesi algısının bozulmasına yol açar (Day et al., 2019; Park et al., 2018).

Skolyozun tedavisinde konservatif ve cerrahi yöntemler bulunmaktadır. Eğriliğin derecesine, bireyin yaşı ve büyüme potansiyeline göre tedavi planı şekillendirilir. Konservatif tedavi yaklaşımları arasında ortez kullanımı, özel egzersiz programları, solunum terapileri ve manuel terapi teknikleri yer almaktadır (Weinstein et al., 2013). Tedavide kullanılan egzersiz yöntemleri gün geçtikçe geliştirilmekte ve farklı yaklaşım teknikleri uygulanmaktadır. Geçmişte uygulanan ve bugünde kabul gören biyomekanik bakış açısına sahip egzersiz yöntemlerinin içeriği etkilenen kaslara germe, kuvvetlendirme ve gövdenin doğru olarak pozisyonlanmasından oluşmaktadır (Berdishevsky et al., 2016). Son zamanlarda sıklıkla kullanılan üç boyutlu skolyoz egzersiz yaklaşımları, asimetrik deformiteyi düzeltici yönde postural algının değiştirilmesi ile postural kontrolün sağlanması temeline dayandırılmaktadır (Schreiber et al., 2015a, 2015b). Skolyozun egzersiz tedavilerinde birçok farklı egzersiz türünden oluşan bütüncül programlar uygulanmaktadır (Carrasco & Ruiz, 2014; Zhang et al., 2011).

SKOLYOZUN DEĞERLENDİRMESİ

İdiyopatik skolyoz tanısı için altın standart, koronal düzlemde omurga eğriliğini değerlendirmek için Cobb açısının hesaplandığı radyografik görüntülemedir. Eğimölçerler, pantograflar ve hatta sırt alçı kalıpları (Stokes, 1989) gibi yöntemler, vertebranın transvers düzleme dik olarak konumlanan vertikal ekseni etrafında gerçekleşen vertebral rotasyon gibi farklı açıları ölçmek için kullanılır. Vertebranın transvers düzlemde oluşan rotasyonunu ölçmek 2B ve 3B görüntüler de kullanılmaktadır (Shin et al., 2022; Vrtovec et al., 2009). Skolyoz sonucu gelişen ve gövde rotasyon açısı olarak adlandırılan bir diğer açı ise, skolyometre ile ölçülen gövdenin yatay düzleme göre eğimini yansıtır.

Bilişim ve iletişim teknolojisindeki gelişmeler, sağlık çalışanlarının bu değişimlere uyum sağlamalarına ve farklı sağlık alanlarında telefon, tablet ve akıllı telefon gibi mobil cihazların kullanıldığı görülmektedir. Akıllı telefonların taşınabilirliği ve basitliği, sağlık sektöründe ölçüm ve veri toplama süreçlerinin doktor merkezli olmaktan, hem doktor hem de hasta için faydalı olacak şekilde hasta merkezli bir yaklaşıma geçişini teşvik etmiştir (Bottino et al., 2023). Akıllı teknolojik cihazlarda kullanılan yazılım uygulamaları ile skolyoz değerlendirmesi, hastaların skolyoz eğrisinin uzaktan izlenmesini kolaylaştırarak doktorların zamandan ve maliyetten tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, skolyoz eğrisinin ilerlemesini takip ederek hastanın, rehabilitasyon programının doğruluğu ve etkinliği hakkında anında geri bildirim almasını sağlamaktadır. Ayrıca, kanıta dayalı araştırmaların yapılması uygulamalarla yapılan taramanın güvenilirliğini ve Cobb açısı ölçümü ile olan tutarlılığını artırabilir (Bottino et al., 2023). Skolyozun kesin tanısı için radyolojik inceleme gerekli olsa da, yazılım uygulamasının kullanılması radyasyon maruziyetini en aza indirecek ve tıbbi ziyaret sayısını azaltabilmektedir (Akazawa et al., 2021).

ScolioTrack

ScolioTrack, hem Android hem de iOS'ta çalışabilen mobil tabanlı bir uygulamadır. Uygulama, hastanın gövde rotasyon açısını değerlendirirken aynı zamanda yaş, boy, kilo ve sırt fotoğraflarını gelecekteki karşılaştırmalar ve takipler için kaydedebilmektedir. Kosta, pelvis, gövde pozisyonu ve omurga hizalanması gibi parametrelerin eşit parçaları bölünmüş karelerden oluşan görünüm modunda sapmaların ve açısal değişikliklerin gözlemlenmesini sağlayabilmektedir. Uygulamanın radyolojik testlerle karşılaştırıldığında, güvenli, daha basit ve daha ucuz olduğu araştırma sonuçlarıyla desteklenmektedir (Bottino et al., 2023). Uygulamanın kullanımının kolay olması sebebiyle hasta omurga eğriliğinin ilerlemesini kendi kendine izleyebilmektedir. Uygulamanın araştırmalarla desteklenen yüksek doğruluk oranı profesyonellere birden fazla hastayı izleme imkanı sunmaktadır. Yapılan tüm ölçümleri kaydedebildiği için takibi kolaylaştırır.

APECS

APECS, yapay zeka duruş değerlendirme ve düzeltme sistemi olarak kullanılan ücretsiz bir uygulamadır. Uygulamanın üst sürümleri (pro) veri kayıt, ve hasta bilgilerinin yer aldığı dosyanın dışa aktarılmasına izin vermektedir. APECS, esas olarak yapay zeka kullanarak hastanın duruşunun değerlendirilmesi ve düzeltilmesiyle ilgilenir. Duruşun nasıl korunacağı ve iyileştirileceği konusunda günlük tavsiyeler sunmanın yanı sıra hastaların duruşlarını izlemelerini ve evdeki duruş egzersizleri hakkında geri bildirim verilmesine olanak

tanımaktadır. APECS, özellikle vücut simetrisini doğru bir şekilde analiz etmek için fotogrametrik algoritmalar kullanır ve duruş değerlendirmeleri yapmak için hastanın vücut fotoğrafına manuel veya otomatik algılama yoluyla yerleştirilen işaretleyicileri kullanır. APECS, hastanın ihtiyaçlarına ve duruş değerlendirmesine göre egzersiz programının sunulmasını sağlayan bir egzersiz modülüdür (Bottino et al., 2023; Naziri et al., 2018).

CobbMeter

Akıllı telefonlarda kullanılan uygulama, açı hesaplama işlemi, iOS mikro-elektromekanik sistem ivme-ölçeri bulunan açı sensörleri aracılığıyla yapılır ve araştırmalarda iyi güvenilirliğe sahip olduğu kabul edilmektedir. CobbMeter'ın doğruluğu ve tekrarlanabilirliği araştırıldığında, adölesan idiopatik skolyozun açısınının belirlenmesinde hızlı, verimli, doğru ve tutarlı bir şekilde ölçtüğü bildirilmektedir. Skolyoz hastalarının teşhis için kapsamlı bir şekilde taranmasını sağladığı kanıtlanmıştır (Qiao et al., 2012).

Scolio Detector

Scolio Detector uygulaması, yerleşik bir skolyometre işlevini kullanarak omurga eğriliğini ölçmektedir. Geleneksel bir skolyometre gibi çalışan ve gövde rotasyon açısını ölçen basit bir uygulamadır. Omurga eğriliklerini ölçmenin yanı sıra, sürekli izleme için ölçüm değerlerinin kaydedilmesine de olanak tanımaktadır. Uygulamanın tüm sürümleri ücretsizdir ve genel olarak kullanıcıların periyodik olarak kendi kendine tarama yapmak için yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Bottino et al., 2023).

SONUÇLAR

Skolyoz değerlendirmesinde ve ilerlemenin izlenmesi için kullanılan uygulamalar sağlık profesyonelleri için çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Klinisyenler, hastaya uygun egzersiz programı oluşturarak bu programların takibini yapabilmektedirler. Omurga eğriliğinin ilerlemesinin periyodik olarak (uzaktan) izlenmesi, tedavinin etkinliği konusunda geri bildirim sağlayabilir. Herhangi bir bilgisayar gibi cihazlara ihtiyaç duyulmadan akıllı telefonlarda kullanılabilen bu uygulamalar her zaman ve her yerde değerlendirmeye imkan vererek maliyet ve zamandan tasarruf sağlamaktadır. Her uygulamanın bahsedilen güçlü yönlerinin yanısıra kendine özgü zayıf yönlerinin ve kullanım zorluklarınında olduğu bilinmektedir. Uygulamaların görüntü, kamera çözünürlüğü veya ortamın aydınlatma koşulları gibi uygun şartların sağlanması gerekmektedir. Ölçüm sonuçlarının bu değişkenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilme olasılığı uygulamaların zayıf yönleri olarak belirtilmektedir. Ayrıca hastaların bu teknolojiyi kullanabilecek yeterlilikde olması ve klinisyen ile eş zamanlı iletişim sağlayabilmesi gibi zorlukların var olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

İlerleyen teknoloji ile kullanıcı ve klinisyenler açısından, skolyozun açısal değişikliklerinin takibini kolaylaştıran, daha fazla işlevselliğe sahip yeni uygulamaların ortaya çıkacağı ve mevcut uygulamaların geliştirileceği düşünülmektedir. Literatürde skolyoz açı ölçümünde, uygulamalar aracılığıyla yapılan değerlendirme sonuçlarının, altın standart olarak kabul edilen ölçüm yöntemlerinin sonuçları ile karşılaştırıldığı daha fazla sayıda araştırmaya ihtiyaç olduğu görülmektedir. Teknolojik uygulamalarla yapılan takiplerin klinik ortamlarda yapılan takiplere

kıyasla üstünlükleri ve zayıflıklarının ortaya konması çok sayıda kanıt değeri yüksek araştırmalar sonucunda belirlenebilir.

KAYNAKÇA

Akazawa, T., Torii, Y., Ueno, J., Saito, A., & Niki, H. (2021). Mobile Application for Scoliosis Screening Using a Standard 2D Digital Camera. *Cureus*. https://doi.org/10.7759/cureus.13944

Berdishevsky, H., Lebel, V. A., Bettany-Saltikov, J., Rigo, M., Lebel, A., Hennes, A., Romano, M., Białek, M., M'hango, A., Betts, T., de Mauroy, J. C., & Durmala, J. (2016). Physiotherapy scoliosis-specific exercises – a comprehensive review of seven major schools. *Scoliosis and Spinal Disorders*, *11*(1), 20. https://doi.org/10.1186/s13013-016-0076-9

Bottino, L., Settino, M., Promenzio, L., & Cannataro, M. (2023). Scoliosis Management through Apps and Software Tools. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(8), 5520. https://doi.org/10.3390/ijerph20085520

Carrasco, M. I. B., & Ruiz, M. C. S. (2014). Perceived self-image in adolescent idiopathic scoliosis: an integrative review of the literature. *Revista Da Escola de Enfermagem Da USP*, *48*(4), 748–757. https://doi.org/10.1590/S0080-623420140000400024

Day, J. M., Fletcher, J., Coghlan, M., & Ravine, T. (2019). Review of scoliosis-specific exercise methods used to correct adolescent idiopathic scoliosis. *Archives of Physiotherapy*, *9*(1), 8. https://doi.org/10.1186/s40945-019-0060-9

Dolan, L. A., Weinstein, S. L., Abel, M. F., Bosch, P. P., Dobbs, M. B., Farber, T. O., Halsey, M. F., Hresko, M. T., Krengel, W. F., Mehlman, C. T., Sanders, J. O., Schwend, R. M., Shah, S. A., & Verma, K. (2019). Bracing in Adolescent Idiopathic Scoliosis Trial (BrAIST): Development and Validation of a Prognostic Model in Untreated Adolescent Idiopathic Scoliosis Using the Simplified Skeletal Maturity System. *Spine Deformity*, *7*(6), 890-898.e4. https://doi.org/10.1016/j.jspd.2019.01.011

Illés, T. S., Lavaste, F., & Dubousset, J. F. (2019). The third dimension of scoliosis: The forgotten axial plane. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, *105*(2), 351–359. https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.10.021

Lenz, M., Oikonomidis, S., Harland, A., Fürnstahl, P., Farshad, M., Bredow, J., Eysel, P., & Scheyerer, M. J. (2021). Scoliosis and Prognosis—a systematic review regarding patient-specific and radiological predictive factors for curve progression. *European Spine Journal*, *30*(7), 1813–1822. https://doi.org/10.1007/s00586-021-06817-0

Naziri, Q., Detolla, J., Hayes, W., Burekhovich, S., Merola, A., Akamnanu, C., & Paulino, C. B. (2018). A Systematic Review of All Smart Phone Applications Specifically Aimed for Use as a Scoliosis Screening Tool. *Journal of Long-Term Effects of Medical Implants*, *28*(1), 25–30. https://doi.org/10.1615/JLongTermEffMedImplants.2017020737

Negrini, S., Donzelli, S., Aulisa, A. G., Czaprowski, D., Schreiber, S., de Mauroy, J. C., Diers, H., Grivas, T. B., Knott, P., Kotwicki, T., Lebel, A., Marti, C., Maruyama, T., O'Brien, J.,

Price, N., Parent, E., Rigo, M., Romano, M., Stikeleather, L., … Zaina, F. (2018). 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis and Spinal Disorders*, *13*(1), 3. https://doi.org/10.1186/s13013-017-0145-8

Neumann, D. A. (n.d.). *Kinesiology of the Musculoskeletal System Foundations for Rehabilitation*, (3rd Editio). Elsevier.

Park, J.-H., Jeon, H.-S., & Park, H.-W. (2018). Effects of the Schroth exercise on idiopathic scoliosis: a meta-analysis. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, *54*(3). https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04461-6

Qiao, J., Liu, Z., Xu, L., Wu, T., Zheng, X., Zhu, Z., Zhu, F., Qian, B., & Qiu, Y. (2012). Reliability Analysis of a Smartphone-aided Measurement Method for the Cobb Angle of Scoliosis. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, *25*(4), E88–E92. https://doi.org/10.1097/BSD.0b013e3182463964

Schreiber, S., Parent, E. C., Moez, E. K., Hedden, D. M., Hill, D., Moreau, M. J., Lou, E., Watkins, E. M., & Southon, S. C. (2015). The effect of Schroth exercises added to the standard of care on the quality of life and muscle endurance in adolescents with idiopathic scoliosis—an assessor and statistician blinded randomized controlled trial: "SOSORT 2015 Award Winner." *Scoliosis*, *10*(1), 24. https://doi.org/10.1186/s13013-015-0048-5

Shin, G.-D., Kim, S., & Kim, K. (2022). Reliability and Validity of Angle of Trunk Rotation Measurement Using Smartphone and 3D Printing Technology in Scoliosis. *The Journal of Korean Physical Therapy*, *34*(6), 283–291. https://doi.org/10.18857/jkpt.2022.34.6.283

Stokes, I. A. F. (1989). Axial rotation component of thoracic scoliosis. *Journal of Orthopaedic Research*, *7*(5), 702–708. https://doi.org/10.1002/jor.1100070511

Sun, X.-Y., Kong, C., Zhang, T.-T., Lu, S.-B., Wang, W., Sun, S.-Y., Guo, M.-C., & Ding, J.-Z. (2019). Correlation between multifidus muscle atrophy, spinopelvic parameters, and severity of deformity in patients with adult degenerative scoliosis: the parallelogram effect of LMA on the diagonal through the apical vertebra. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, *14*(1), 276. https://doi.org/10.1186/s13018-019-1323-6

Vrtovec, T., Pernuš, F., & Likar, B. (2009). A review of methods for quantitative evaluation of axial vertebral rotation. *European Spine Journal*, *18*(8), 1079–1090. https://doi.org/10.1007/s00586-009-0914-z

Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Wright, J. G., & Dobbs, M. B. (2013). Effects of Bracing in Adolescents with Idiopathic Scoliosis. *New England Journal of Medicine*, *369*(16), 1512–1521. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1307337

Zhang, J., He, D., Gao, J., Yu, X., Sun, H., Chen, Z., & Li, M. (2011). Changes in Life Satisfaction and Self-esteem in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis With and Without Surgical Intervention. *Spine*, *36*(9), 741–745. https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181e0f034

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KRONİK BÖBREK YETMEZLİĞİNDE ROY UYUM MODELİ TEMELLİ HEMŞİRELİK BAKIMININ ÖNEMİ

Nurcan UZDİL

Doç.Dr., Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Kayseri.

nuzdil@erciyes.edu.tr

ORCID NO: 0000-0001-8559-8299

ÖZET

Kronik böbrek yetmezliği (KBY), küresel ölçekte morbidite ve mortalite oranları giderek artan, uzun süreli ve kompleks bakım gerektiren önemli bir halk sağlığı sorunudur. Hastalığın ilerleyici doğası, diyaliz ve böbrek nakli gibi yaşamı sürdürücü tedavilerin gerekliliği, bireylerin fizyolojik, psikolojik ve sosyal uyumunu önemli ölçüde etkilemektedir. Hemodiyaliz (HD) ve periton diyalizi (PD) tedavileri, yaşam süresini uzatmakla birlikte, bireylerin yaşam kalitesini sınırlayan çok sayıda fiziksel semptom, psikososyal sorun ve rol değişikliğiyle ilişkilidir. Bu durum, yalnızca biyolojik değil, çok boyutlu bir hemşirelik bakım yaklaşımını gerekli kılmaktadır.

Roy Uyum Modeli (RUM), bireyi çevresiyle etkileşim içinde dinamik bir adaptif sistem olarak ele alan, fizyolojik, benlik kavramı, rol fonksiyonu ve karşılıklı bağımlılık alanları üzerinden uyumu değerlendiren bütüncül bir hemşirelik kuramıdır. Bu derlemenin amacı, KBY hastalarında diyaliz sürecine uyumun güçlendirilmesinde Roy Uyum Modeli'nin etkinliğini incelemek ve model temelli hemşirelik bakımının katkılarını ortaya koymaktır. Literatürde yer alan çalışmalar, Roy Uyum Modeli'ne dayalı eğitim ve bakım uygulamalarının hemodiyaliz hastalarında fizyolojik uyum, benlik saygısı, stres yönetimi, öz bakım gücü ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Ancak periton diyalizi hastalarına yönelik model temelli yapılandırılmış eğitim programlarının sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak, Roy Uyum Modeli'nin diyaliz hastalarında hemşirelik bakımına entegre edilmesi, hasta uyumunun artırılması ve yaşam kalitesinin geliştirilmesi açısından etkili bir kuramsal çerçeve sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kronik böbrek yetmezliği, Hemşirelik modelleri, Roy Uyum Modeli

GİRİŞ

Kronik Böbrek Yetmezliğine İlişkin Genel Bilgiler

Kronik böbrek yetmezliği, dünya genelinde bireyleri etkisi altına alan morbidite, mortalite ve prevelansı en yüksek hastalıklardan biridir. 2040 yılına kadar dünya genelinde önde gelen mortalite nedenleri arasında ilk beşte olması beklenmektedir (Alnaser ve ark., 2025) Erken tanı konulduğunda ilerlemesi yüksek oranda engellenebilir. Ancak farkındalığın düşük olması erken tanı konulmasını engelleyebilir. Kronik hastalıklar, beraberinde getirdiği beden imajında bozulma, bağımlılık, ağrı, tedavi yükü gibi faktörlerle bireyin uyum kapasitesini etkileyen en önemli stres kaynaklarından biridir. Kronik böbrek yetmezliği de benzer stres kaynakları yaratarak bireyin yaşamını olumsuz yönde etkileyebilir. (Özdemir ve Taşcı, 2013). Böbrek

fonksiyonlarında kademeli bir azalma ile etkisini gösterir. Kronik böbrek yetmezliği, glomeruler filtrasyon hızındaki değişimin durumuna göre beş evreye ayrılır. Son evre olarak da bilinen son dönem böbrek yetmezliği, eGFRnin dakikada 15 milimetreden az olması ile karakterizedir. eGFR hızı normalin yüzde 75ine kadar azaldığında buna sebep olan olay ortadan kaldırılsa bile böbrek fonksiyonları geri dönülmez olarak bozulur ve hasar giderek artma eğilimindedir. KBY mutlaka nefron sayısı ve fonksiyonlarında azalma ile karakterize ve sıklıkla SDBY ne götüren patofizyolojik bir süreçtir (Varol ve Karaca Sivrikaya, 2018). Son evrede komplikasyon riski oldukça yüksek olduğu için diyaliz ve böbrek nakli gibi tedavilere kısa süre içinde başlanması önem arz eder. eGFR dakikada 15 milimetrenin altına düştüğünde hastalarda üremiye bağlı mide bulantısı, kas krampları, kusma, kilo kaybı, metabolik asidoz, hiperkalemi gibi komplikasyonlar gelişebilir. Diyaliz tedavisi genelde bu komplikasyonlar geliştiğinde başlatılmaktadır (Floege, 2010). Türk Nefroloji Derneğinin kayıt sistemi ortak raporuna göre 2022 yılı sonu itibariyle ülkemizde 61.723 hemodiyaliz, 3.552 periton diyalizi, 21.390 böbrek nakli olmak üzere renal replasman tedavi uygulanan 86.665 son dönem böbrek yetmezliği hastası vardır (Türkiye Böbrek Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı, 2025) Dünyada kronik böbrek hastalığı sıklığına ilişkin yaklaşık 7 milyon kişiyi kapsayan 100 çalışmanın epidemiyolojik çalışmanın meta analizinde, erişkin popülasyonda KBH prevelansı yüzde 13,4 bulunmuştur. Bu oran her 7-8 erişkinin birinde değişik derecelerde böbrek hastalığı olduğunu düşündürmektedir. Türk Nefroloji Derneği Böbrek Kayıt Sistemi verilerine göre ülkemizde SDBH prevalansı giderek artmaktadır. Türkiye'de 2010 yılında milyon nüfus başına 853 olan SDBH'li birey sayısı 2022 yılı sonunda 1.016'ya ulaşmıştır. 2022 yılındaki SDBH insidansı ise milyon nüfus başına 161 olarak belirlenmiştir (Türkiye Böbrek Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı, 2025). Türk Nefroloji Derneği tarafından ülke çapında gerçekleştirilen Türkiye Kronik Böbrek hastalığı prevelans [CREDIT] çalışmasında Türkiyede erişkinlerde KBY prevelansı %15,7 dir. (Kronik Böbrek Hastalığı klinik protokolü, 2020). Hemodiyaliz, kronik böbrek yetmezliği hastaları için en etkili tedavi yöntemlerinden biridir.Ancak bu tedavinin kronik böbrek yetmezliği hastalarının yaşam kalitesini etkileyen çeşitli yaşam değişiklikleri ve kısıtlamaları mevcuttur (Alnaser ve ark., 2025). Hemodiyaliz uygulaması yaklaşık 4 saat süren seanslar ile hastanın durumuna göre haftada yaklaşık 2 ya da 3 kez olacak şekilde uygulanır. Azotemi ile birlikte görülen sıvı elektrolit dengesizlikleri ve asit baz dengesizliklerini düzeltmek amacıyla hastanın kanını vücut dışı bir dolaşım mekanizmasıyla süzme işlemine dayanır (Nowrooz ve ark., 2023). Hemodiyaliz,hastadan alınan kanın membran aracılığı ve makine yardımıyla sıvı ve solüt içeriğinin tekrar düzenlenmesi esasına dayanır.Hemodiyaliz makineleri,diyaliz sıvı devresi ve vücut dışı kan devresi olmak üzere 2 kısımdan oluşur. Hemodiyaliz sayesinde atık maddeler vücuttan başarılı şekilde atılır.Diyaliz ortamı sayesinde hasta bireyler arası sosyal ilişkilerin gelişmesi desteklenir.Hastanede yatma gereksinimi azalır.Malnütrasyona daha az rastlanır. Karına ait komplikasyon riskleri azalır (Karabey ve Karagözoğlu, 2021). Diyaliz yaşamın sürdürülmesine olan katkılarının yanında bireyin yaşamını olumsuz etkileyen bir takım komplikasyonları da beraberinde getirir.Hemodiyaliz tedavisi sürecinde hastalar sıklıkla yorgunlukta artma, güçsüzlük ve devamında yeti yitimleri gibi komplikasyonları deneyimleyebilir.Bu komplikasyonların başında baş ağrısı, bulantı, kusma, kilo kaybı, hipotansiyon, kaşıntı, ateşlenme, sırt ağrısı ve psikolojik problemler gelmektedir. Bunların dışında nadir olarak aritmi, kalp tamponadı, hava embolisi, hemoliz, disequilibrium sendromu gibi komplikasyonlar da

yaşanabilmektedir (Tayaz ve Koç, 2020). Yapılan bir çalışmada en sık görülen semptomların %56'sının yorgun hissetme, %48,7'sinin kemik ve eklem ağrısı, %47'sinin iştahta azalma, %43'ünün baş ağrısı ve %42,3'ünün ayaklarda uyuşma ve karıncalanma olduğu ve bu semptomların bireyleri ciddi şekilde etkilediği görülmüştür (Özdemir ve Kav, 2011). Tedavi uyumu, hastaların sağlığı ve hastalığı konusunda sağlık profesyonellerinin önerilerini kabul etmesi ve benimsemesi olarak tanımlanabilir (Dikeç ve Kutlu, 2015). Son dönem böbrek yetmezliği tedavileri yaşam boyu dikkat edilmesi gereken oldukça zorlayıcı diyet ve sıvı kısıtlamaları yapılması gereken, polimedikasyon protokolleri ve düzenli takip gerektiren tedavilerdir. Tedaviyi alan bireylerin iyilik halini koruyarak mevcut sağlık durumunu sürdürmesi ve tedavi sürecinin başarılı geçmesi için tedavi sürecine uyum sağlaması ve sürece uyum sağlaması büyük önem arz etmektedir (Mollaoğlu ve Kayataş, 2015). Bu bağlamda, kronik böbrek yetmezliği ve diyaliz tedavisi süreci yalnızca fizyolojik değil; psikolojik, sosyal ve davranışsal boyutları da içeren karmaşık bir uyum sürecini gerektirmektedir. Hastaların tedaviye uyumunun artırılması, yaşam kalitelerinin korunması ve çok boyutlu gereksinimlerinin karşılanabilmesi için bakımın yalnızca klinik uygulamalarla değil, aynı zamanda kuramsal temellere dayalı sistematik yaklaşımlarla ele alınması önem kazanmaktadır. Bu derlemenin amacı, kronik böbrek yetmezliği hastalarının uyum sürecini güçlendirmede hemşirelik modellerinin rolünü ortaya koymak ve özellikle Roy Uyum Modeli'nin bu alandaki kullanımını değerlendirmektir. Bu çerçevede aşağıda hemşirelik modellerinin kullanımının önemi ele alınacaktır.

Hemşirelik Modelleri Kullanımının Önemi

Hemşirelik modelleri, araştırmalara rehberlik etmesi ve klinik uygulamalara bilimsel bir temel sağlaması açısından mesleğin profesyonelleşmesinde kritik bir role sahiptir. Profesyonel bir disiplinin temel amacı, uygulamaları yönlendiren sistematik ve bilimsel bilgi üretmektir. Hemşirelik modelleri, bireyin sağlığını etkileyen çok boyutlu faktörlerin bütüncül olarak görülmesini ve hedeflere ulaşmak için izlenecek yolların planlanmasını sağlar (Velioğlu, 2012; Ekim ve ark., 2012).

Literatürde, hemşirelik sürecinin herhangi bir model temeline dayanmadan kullanılmasının bakım uygulamalarını açıklamakta yetersiz kaldığı ve bakımın mekanik bir işlem haline gelmesine neden olabildiği vurgulanmaktadır (McKenna, 2005). Modeller, hemşirelere bakım verdikleri bireylerden elde edilen çok sayıdaki veriyi sistematik biçimde organize etme, analiz etme ve anlamlandırma olanağı sunar. Model temelli uygulamalar, hemşirelerin yalnızca tıbbi işlemlere değil, hemşireliğin özüne ait rollerine odaklanmasını destekler ve ekip içi uygulama farklılıklarını azaltarak bakımda standardizasyonu güçlendirir (Ekim ve ark., 2012; Fawcett, 2005).

Hemşirelik araştırmalarında model kullanımının önemli avantajları arasında; varsayılan ilişkileri test ederek yeni bilgi üretme, hasta/birey/grubu bütüncül ele alma, gerçekçi hedef ve sınırları belirleme, bireysel farklılıklara uygun ve süreklilik gösteren bakım sağlama ve teori ile uygulama arasındaki boşluğu azaltma yer almaktadır (McKenna, 2005). Ayrıca modeller, uygulama, araştırma, eğitim ve yönetsel süreçlerde hemşirelere sistematik bir yol haritası sunar (Fawcett, 2005).

Bu bağlamda Roy Uyum Modeli'nin (RUM) tercih edilme nedeni; modelin farklı gelişim dönemlerinde, sağlıklı ve hasta bireylerde uyum gereksinimlerini belirlemede kullanılabilir, test edilebilir ve geliştirilebilir bir yapıya sahip olmasıdır (Phillips, 2006; Roy, 2009). Model, araştırma sorularının oluşturulmasından eğitim programlarının hazırlanmasına, bulguların sunumu ve tartışılmasına kadar tüm araştırma sürecine rehberlik eder.

Roy Uyum Modeli (RUM)

Roy Uyum Modeli (RUM), bireyin değişen iç ve dış çevresel koşullara uyum sağlama sürecine odaklanan bir hemşirelik kuramıdır. Modele göre insan, yaşam boyunca sürekli değişen uyaranlara fizyolojik, psikolojik ve sosyal boyutlarda yanıt verebilen adaptif bir sistemdir. Uyum, bireyin ya da grubun iç ve dış çevrede meydana gelen değişimlere etkili yanıt verebilme yeteneği olarak tanımlanır ve bu kavram hemşireliğin kuramsal temelleriyle uyumludur (Roy, 2009; Fawcett, 2005).

RUM'un metaparadigma kavramları insan, çevre, sağlık ve hemşireliktir. İnsan; birey, aile, grup ve toplum düzeyinde ele alınan, biyopsikososyal bir varlıktır ve çevresel uyaranlara yanıt veren açık bir sistem olarak tanımlanır (Roy, 2009). Çevre; odak, durumsal ve olası (rezidüel) uyaranlardan oluşur. Odak uyaran bireyi en fazla etkileyen temel stresördür; durumsal uyaranlar odak uyaranın etkisini değiştiren diğer faktörlerdir; olası uyaranlar ise etkisi tam olarak bilinmeyen geçmiş deneyimler ya da gizli etkenlerdir (Fawcett, 2005).

Birey, uyumu sağlamak için düzenleyici (nöral, kimyasal, endokrin süreçler) ve bilişsel-duyuşsal (algılama, öğrenme, karar verme, duygusal süreçler) baş etme mekanizmalarını kullanır (Roy, 2009). Bu mekanizmaların etkinliğine göre bireyin verdiği yanıtlar uyumlu (etkili) ya da uyumsuz (etkisiz) davranışlar olarak değerlendirilir (Frederickson, 2000).

Modelde davranışlar dört temel uyum alanı içinde ele alınır:

1. Fizyolojik alan (temel ve kompleks yaşam süreçleri),
2. Benlik kavramı alanı (fiziksel ve kişisel benlik algısı),
3. Rol fonksiyonu alanı (toplumsal roller),
4. Karşılıklı bağımlılık alanı (yakın ilişkiler ve sosyal destek) (Phillips, 2006; Roy, 2009).

RUM'a göre uyum üç düzeyde gerçekleşir: mükemmel uyum, dengeleyici uyum ve uzlaşmacı uyum. Sağlık, bireyin çevresel uyaranlara verdiği uyumlu yanıtların bütünü olarak kabul edilir (Roy, 2009). Hemşirelik ise bireyin/grubun uyaranlarını yöneterek uyumu artırmayı amaçlayan profesyonel bir bakım sürecidir. Hemşire, hemşirelik sürecini kullanarak davranışları ve uyaranları değerlendirir, hemşirelik tanıları koyar, hedefler belirler, girişimleri uygular ve sonuçları değerlendirir (Frederickson, 2000).

Roy Uyum Modeli ve Diyaliz

Kronik hastalıklar geri dönüşümsüz, uzun süreli bakım, denetim, gözlem ve rehabilitasyonda özel eğitim gerektiren hastalıklar olarak tanımlanmaktadır (Akdemir ve Birol, 2005).

Kronik hastalıklardan biri olan kronik böbrek yetmezliği yaşamı tehdit eden, kişinin otonomisini bozan, en önemli aktivitelerinin veya ilişkilerinin değişmesine neden olan, dolayısıyla fiziksel, psikolojik ve sosyal uyum gerektiren zorlu bir hastalıktır. Kronik böbrek yetmezliği sıklığının hızla artması ile hemodiyaliz ve periton diyalizi tedavisi gören hastaların hastalık ve tedavi sürecine uyumunun bozulduğu çalışmalarla desteklenmiştir (Wang, 2014; Kacaroğlu Vicdan ve Gülseven Karabacak, 2016; Fırat ve Ecevit Alpar, 2013; Afrasiabifar ve ark., 2013).

Diyaliz tedavisi uygulanmakta olan hastaların hemşirelik bakımı, hastanın yaşadığı tüm sınırlılıklarla baş edebilmesi için hastanın uyumuna odaklanmalıdır. Sistematik bakış açısıyla hemşirenin spesifik bir teorinin bilgisine sahip olması gerekmektedir. Bu bilgi hemşirenin teknik bilgilerine de temel oluşturacaktır. Bu noktada Roy'un uyum modelinin diyaliz tedavisi uygulanan hastaların hemşirelik bakımında rehber olacağına inanılmaktadır (Frazao ve ark. 2013).

Diyalizi hastalarında psikososyal uyumun sağlanması; tedavi, sağlık durumu ve yaşam kalitesi açısından önemli bir sorundur (Wang, 2014). Roy kendi geliştirdiği Adaptasyon Modeline göre bireylerin hastalığa uyumunu dört ana bölümde inceler. Bu alanlar fizyolojik alan, benlik kavramı alanı, rol fonksiyon alanı ve karşılıklı bağlılık alanıdır (Roy, 2009). Diyalizin yaşam şeklinde bazı değiklikliklere yol açması nedeniyle hemodiyaliz ve periton diyalizi hastaları grubunda psikososyal uyumun geliştirilmesine ilginin giderek artması Roy'un Uyum Modelinin önemini daha çok artırmaktadır (Kacaroğlu Vicdan ve Gülseven Karabacak, 2016; Afrasiabifar ve ark. 2013; Wang, 2014).

Böbrek yetmezliğine bağlı gelişen anemi, eklem ağrıları, kaşıntı, yorgunluk gibi fiziksel komplikasyonlar (Akdağ, 2006). Roy'un fizyolojik alanıyla ilgili verilen hemşirelik uygulamalarıyla giderilebilir veya en aza indirilebilir. Çünkü bireyin fizyolojik anlamda hastalığa uyumu tedavi sürecini kolaylaştıracak; diyet, egzersiz, korunma, uyku gibi temel gereksinimlerinin düzenli olması hastalığın tedavisinde büyük katkılar sağlayacaktır.

Kronik böbrek yetmezliği işlev kayıplarının, yaşam tarzında değişikliklerin, dolayısıyla uyum sorunlarının fazla yaşandığı kronik hastalıklar arasında yer almaktadır (Wang, 2014 Kacaroğlu Vicdan ve Gülseven Karabacak, 2016). Bu tür olumsuzluklardan dolayı, bireylerin benlik saygılarının düştüğü gözlenmektedir. Roy Uyum Modelinde benlik saygısı doğrultusunda verilen eğitimler bireylerin hastalıkla mücadele gücünü artırmakta benlik saygılarının normal seviyelere gelmesini sağlamaktadır. Bu da bireylerin hastalığa ve tedaviye uyumunu kolaylaştırmaktadır (Burn 2004).

HD ve PD tedavisi hasta yaşamında değişiklik yaratan yeni ve farklı bir deneyimdir. Bu durum hem hasta hem de hasta ailesini yakından etkiler ve yaşamla ilgili yeni düzenlemeler gerektirir. Aile içi rol kaybı, iş kaybı ve vücut fonksiyonlarındaki kayıplar hasta için büyük psikososyal sorunların ortaya çıkmasına neden olur. Böbrek yetmezliğine bağlı gelişen olumsuzluklar hastanın sosyal yaşamdan uzaklaşmasına bireyin rollere uyumunun güçleşmesine neden olur. Diyalizi uygulanan hastalarda sosyal, ekonomik, psikolojik, kısaca yaşamın tüm alanları olumsuz yönde etkilenmektedir (Tannor ve ark., 2017; Wang, 2014). Roy Uyum Modeline göre rol fonksiyon alanıyla ilgili verilen eğitimler bireylerin kendi rollerinden uzaklaşmadan, sosyal yaşam aktivitelerini değiştirmeden hastalığa uyum sürecini kolaylaştırmaktadır.

Kronik hastalıklarda duygusal destek hastalığa psikolojik uyumu artırmakta, depresyonu azaltmaktadır. Diyaliz hastalarında hissedilen sosyal destek psikolojik iyilik halini artırmaktadır (Cormier-Daigle ve Stewart 1997). Kronik böbrek yetmezliği bulunan hastaların hastalıktan etkilenmeleri kendilerini diğer bireylerden farklı hissettirmektedir. Hastalığın tedavi sürecinde evlerinde periton diyaliz işlemini uygulamaları, hastalıktan dolayı ölüm korkusu duymaları hastaların kendilerini yanlız hissetmelerine yol açmaktadır. Bu nedenle Roy Uyum Modeli karşılıklı bağlılık alanı için de bireyleri destekleyici eğitimler içermekte, bireyin kendi destek sistemlerini harekete geçirip, hasta yakınlarının hastaya desteklerini arttırmaktadır (Roy, 2009, Kacaroğlu Vicdan ve Gülseven Karabacak, 2010).

Türkiye ve yurt dışında hemodiyaliz hastalarına RUM temelli eğitim verilmiş, fakat periton diyalizi hastalarına RUM temelli bir eğitim program uygulanmamıştır. HD hastalarına yönelik yapılmış çalışmalara baktığımızda, Afrasiabifar ve ark. (2013) Roy Adaptasyon Modeli temelli hasta öğretiminin HD hastalarının fizyolojik ve benlik kavramı alanlarında adaptasyonunu güçlendirdiğini belirtmiştir. Roy uyum modelinin hemşirelik bakımında kullanımının kişinin uyum ve bütünlüğünü artırmada katkı sağladığını vurgulamıştır.

Frazao ve ark (2015) KBY hastalarında uyum problemleri ve hemşirelik tanıları RUM'a gore karşılaştırılmış ve 20 hemşirelik tanısı ile 22 uyum problemi arasında benzerlik bulundu. Roy'un bu ilişkileri ortaya koyan adaptasyon alanları ise fizyolojik, benlik kavramı ve rol fonksiyonu alanı olarak belirlenmiştir. El Gawab ve Hassan (2022) çalışmasında hemodiyaliz hastalarına Roy uyum modelini uygulamış ve hastaların fizyolojik, öz-kavram, iş rolü fonksiyonu ve bağımsızlık ve bağımlılık modu puanlarının ortalama puanlarında roy uygulaması öncesi ve sonrası istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit etmiştir.

Türkiye de ise Kılıç ve Güngörmüş (2017) HD hastalarına roy adaptasyon modeline göre eğitim vermiş ve eğitim sonunda hastaların stres düzeyinin azaldığını, psikososyal uyum ve öz bakım gücünü artırdığını bulmuşlardır. Benzer bir diğer çalışmada da Roy Adaptasyon Modeli'ne göre verilen eğitimin hemodiyaliz tedavisi alan bireylerin fizyolojik, psikolojik ve sosyal uyumunu arttırdığı sonucuna varılmıştır. (Kacaroğlu Vicdan ve Gülseven Karabacak, 2016). Özdemir ve Unsar (2024) sıvı yönetimi, semptom kontrolü ve yaşam kalitesinin Roy Uyum Modeli'ne dayalı eğitime etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonunda Roy Uyum Modeli'ne göre verilen eğitimin hemodiyaliz hastalarının sıvı kontrolüne uyumunu, yaşam kalitesini ve semptom kontrolünü iyileştirdiği belirlenmiştir. Roy Uyum Modeli'ne dayalı eğitimin hemodiyaliz hemşireleri tarafından sistematik olarak kullanılması önerilmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Kronik böbrek yetmezliği, bireylerin yalnızca fiziksel sağlık durumunu değil; psikolojik, sosyal ve spiritüel boyutlarını da derinden etkileyen, yaşam boyu izlem ve uyum gerektiren kronik bir hastalıktır. Diyaliz tedavisi, yaşamın sürdürülmesinde vazgeçilmez olmakla birlikte, bireylerin yaşam kalitesinde belirgin sınırlılıklara ve çok yönlü uyum sorunlarına yol açabilmektedir. Bu derlemede ele alınan bulgular, Roy Uyum Modeli temel alınarak yapılandırılan hemşirelik girişimlerinin, kronik böbrek yetmezliği hastalarının fizyolojik uyum düzeylerini artırmada, psikososyal iyilik hallerini desteklemede ve tedaviye uyumlarını güçlendirmede etkili olduğunu göstermektedir.

Model temelli hemşirelik bakımının, bireyin gereksinimlerini bütüncül bir bakış açısıyla ele almayı kolaylaştırdığı, bakımın sistematik biçimde planlanmasına katkı sağladığı ve hemşirelik uygulamalarında standartlaşmayı desteklediği görülmüştür. Roy Uyum Modeli'nin özellikle hemodiyaliz hastalarında yaşam kalitesi, öz bakım gücü, stresle baş etme ve benlik saygısı üzerindeki olumlu etkileri dikkat çekicidir.

Bu doğrultuda; klinik uygulamalarda Roy Uyum Modeli'ne dayalı bakım planlarının yaygınlaştırılması, hemşirelik eğitim müfredatına model temelli bakım yaklaşımlarının daha etkin biçimde entegre edilmesi ve periton diyalizi ile böbrek nakli hastalarını kapsayan randomize kontrollü çalışmaların artırılması önerilmektedir. Ayrıca, kültürel farklılıkların uyum sürecine etkisini değerlendiren çok merkezli çalışmaların planlanması, kanıta dayalı hemşirelik uygulamalarının geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Afrasiabifar A, Karimi Z, Hassani P. Roy's Adaptation Model–Based Patient Education for Promoting The Adaptation of Hemodialysis Patients, Iranian Red Crescent Medical Journal, 2013;15(7):566–572. doi:10.5812/ircmj.12024

Akdağ İ. Hemodiyalizde Akut Komplikasyon ve Tedavisi, Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences, 2006;26(2):40–48.

Akdemir N, Birol L. *İç Hastalıkları ve Hemşirelik Bakımı*, Ankara: Vehbi Koç Yayınları; 2003.

Alnaser RI, Abed MN, Alassaf FA, Alsaaty MH. Integrating Artificial Intelligence into Chronic Kidney Disease Care: Enhancing Hemodialysis Scheduling, Comorbidity Management, and Diagnostic Capabilities, Siriraj Medical Journal, 2025;77(7):543–552.

Burns D. Physical And Psychosocial Adaptation Of Blacks On Hemodialysis, Nursing Research, 2004;17(2):116–124.

Cormier-Daigle M, Stewart M. Support and Coping of Male Hemodialysis-Dependent Patients, International Journal of Nursing Studies, 1997;34(6):420–430.

Dikeç G, Kutlu Y. Ruhsal Bozukluklarda Tedavi Uyumunu Artırmak İçin Bir Yöntem: Tedaviye Uyum Programı, Psikiyatri Hemşireliği Dergisi, 2015;6:40–46.

Ekim A, Manav G, Ocakçı AF. Ülkemizde Teori Temelli Hemşirelik Araştırmaları: Bir Gözden Geçirme, Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Yüksekokulu Elektronik Dergisi, 2012;5(4):157–161.

El Gawab HM, Hassan MS, Mohammed MAE, Abdelkader HM. Effect of Roy Adaptation Model Application on Patients Undergoing Hemodialysis, Port Said Scientific Journal of Nursing, 2022;9(3):260–277.

Fawcett J. Contemporary Nursing Knowledge: Analysis and Evaluation of Nursing Models and Theories, 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis; 2005.

Fırat H, Ecevit Alpar Ş. *Hemodiyaliz Hastalarına Uygulanan Grup Eğitiminin Hastaların Psikososyal Uyum ve Öz Bakım Gücüne Etkisi*, Doktora tezi, Marmara Üniversitesi; 2013.

Floege J. Models For Acute and Chronic Kidney Diseases, Drug Discovery Today: Disease Models, 2010;7(1–2):1–2.

Frazao CMFQ, Fernandes MICD, Nunes MGM, Sá DJ, Lopes MVO, Lira ALBC. Components of Roy's Adaptation Model in Patients Undergoing Hemodialysis, Revista Gaúcha de Enfermagem, 2013;34(4):45–52.

Frederickson K. Nursing Knowledge Development Through Research: Using The Roy Adaptation Model, Nursing Science Quarterly, 2000;13:12–17.

Kacaroğlu Vicdan A, Gülseven Karabacak B. Effect of Treatment Education Based on The Roy Adaptation Model on Adjustment of Hemodialysis Patients, Clinical Nurse Specialist, 2016;E1–E13.

Karabey T, Karagözoğlu Ş. Hemodiyaliz Sürecinde Semptom Yönetimi ve Hemşirelik Bakımı, TOGÜ Sağlık Bilimleri Dergisi, 2021;1(1):21–29.

Kılıç E, Güngörmüş Z. *Roy Adaptasyon Modeline Göre Verilen Eğitimin Hemodiyaliz Hastalarının Stres, Psikososyal Uyum ve Öz Bakım Gücüne Etkisi*, Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi; 2017.

McKenna H. Applying Theories in Practice, In: Nursing Theories and Models. London: Taylor & Francis; 2005. p.158–178.

Mollaoğlu M, Kayataş M. Disability is Associated With Nonadherence to Diet and Fluid Restrictions in End-Stage Renal Disease Patients Undergoing Maintenance Hemodialysis, International Urology and Nephrology, 2015;47:1863–1870.

Nowrooz, S., Alanazi, T., Al-Ghamdi, A., Alzahrani, A., Alshammari, A., AlYaqoot, N., ... El-Agroudy, A. Quality of Life Among Hemodialysis Patients: Role of The Dialysis Shift, Saudi Journal of Kidney Diseases And Transplantation, 2023;34(1):122–132.

Ozdemir O, Unsar S. The Effect of Education Given to Hemodialysis Patients Based on The Roy Adaptation Model on Fluid Management, Symptom Control, and Quality of Life, Nursing & Health Sciences, 2024;26(2):e13118.

Özdemir Ç, Kav S. *Diyaliz Tedavisi Alan Hastalarda Semptom Kümelerinin Belirlenmesi*, Yüksek lisans tezi, Başkent Üniversitesi; 2011.

Özdemir Ü, Taşcı S. Kronik Hastalıklarda Psikososyal Sorunlar ve Bakım, Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 2013;1(1):57–72.

Phillips KD. *Roy's Adaptation Model in Nursing Practice*, In: Alligood MR, Tomey AM, editors. Nursing Theory: Utilization & Application. 3rd ed. St. Louis: Mosby; 2006. p.307–333.

Roy C. *The Roy Adaptation Model*, 3rd ed. Upper Saddle River: Pearson Education; 2009.

Sağlık Bakanlığı. Kronik Böbrek Hastalığı Klinik Protokolü, Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı; 2020.

Sağlık Bakanlığı. Türkiye Böbrek Hastalıkları Önleme ve Kontrol Programı (2025–2030), Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı; 2025.

Varol E, Sivrikaya SK. Kronik Böbrek Yetmezliğinde Yaşam Kalitesi ve Hemşirelik, Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2018;8(2):89–96.

Velioğlu P. *Hemşirelikte Kavram ve Kuramlar*, Ankara: Akademi Basın ve Yayıncılık; 2012.

Tannor, E. K., Archer, E., Kapembwa, K., Van Schalkwyk, S. C., Davids, M. R. Quality of Life in Patients on Chronic Dialysis in South Africa: A Comparative Mixed Methods Study, BMC Nephrology, 2017;18:4.

Tayaz E, Koç A. Hemodiyaliz Tedavisi Alan Kronik Böbrek Yetmezliği Hastalarında Semptom Yönetimi ve Hemşirelik, Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 2020;23(1):147–156.

Wang, T. J., Lin, M. Y., Liang, S. Y., Wu, S. F. V., Tung, H. H., Tsay, S. L. Factors Influencing Peritoneal Dialysis Patients' Psychosocial Adjustment, Journal of Clinical Nursing, 2014;23:82–90.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YAŞLI RUH SAĞLIĞI HİZMETLERİNDE GEROPSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ

Nurcan UZDİL

Doç.Dr., Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ruh Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Kayseri.

nuzdil@erciyes.edu.tr

ORCID NO: 0000-0001-8559-8299

ÖZET

Dünya genelinde ve Türkiye'de yaşlı nüfusun hızla artması, ruh sağlığı alanında yeni ve önemli bakım gereksinimlerini ortaya çıkarmıştır. Yaşlılık döneminde depresyon, anksiyete, demans, deliryum, uyku bozuklukları ve sosyal izolasyon gibi ruhsal sorunların görülme sıklığı artmakta ve bu durum bireylerin yaşam kalitesini, işlevselliğini ve toplumsal katılımını olumsuz etkilemektedir. Literatürde yer alan meta-analiz ve epidemiyolojik çalışmalar, yaşlı nüfusta ruhsal bozuklukların önemli bir halk sağlığı sorunu haline geldiğini göstermektedir. Türkiye'de de demografik yaşlanma süreci hızlanmakta; buna paralel olarak yaşlıların ruhsal sağlık gereksinimleri artış göstermektedir. Ancak ülkemizde yaşlı ruh sağlığına yönelik hizmetlerin yeterince yaygın ve bütüncül olmadığı, birinci basamakta tarama uygulamalarının sınırlı olduğu ve geropsikiyatrik uzmanlaşmanın yetersiz kaldığı dikkat çekmektedir.

Uluslararası alanda entegre bakım, toplum temelli hizmetler, kurum temelli bakım ve dijital sağlık uygulamaları ön plana çıkmaktadır. Bu hizmet modellerinin temel amacı, yaşlı bireylerin ruhsal iyilik hâlini desteklemek, bakım sürekliliğini sağlamak ve sosyal izolasyonu azaltmaktır. Bu noktada hemşireler, yaşlı ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesinde kritik role sahiptir. Geropsikiyatrik hemşireler; erken tanılama, düzenli ruhsal değerlendirme, bireyselleştirilmiş bakım planları oluşturma, psikososyal destek sağlama, ilaç yönetimi ve bakım verenleri destekleme gibi çok yönlü sorumluluklar üstlenmektedir. Türkiye'de bu alandaki standartların güçlendirilmesi, eğitim programlarının geliştirilmesi ve toplum temelli bakım yaklaşımlarının yaygınlaştırılması, yaşlı ruh sağlığı hizmetlerinin niteliğini artırmada temel stratejiler olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yaşlı ruh sağlığı, Geropsikiyatri hemşireliği, Toplum temelli bakım

GİRİŞ

Dünya nüfusu hızlı bir yaşlanma sürecinden geçmektedir ve bu demografik dönüşüm, özellikle sağlık sistemleri ve sosyal hizmetler üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. 21. yüzyılda 65 yaş ve üzeri bireylerin toplam nüfus içindeki oranının giderek artması; yalnızca fiziksel sağlık sorunlarının değil, aynı zamanda depresyon, anksiyete, demans ve intihar davranışı gibi ruhsal sorunların da daha sık görülmesine yol açmaktadır. Bu durum, yaşlılık dönemine ilişkin ruh sağlığı sorunlarının yalnızca biyolojik yaşlanmanın doğal bir sonucu olarak değil, önlenebilir ve yönetilebilir bir halk sağlığı sorunu olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır (WHO, 2023; Reynolds, 2022).

Son yıllarda yapılan meta-analiz ve büyük ölçekli epidemiyolojik çalışmalar, ileri yaş grubunda depresyon ve anksiyete bozukluklarının yaygınlığının dikkat çekici düzeylerde seyrettiğini göstermektedir. Hu ve arkadaşlarının (2022) çalışmaları ile Jalali ve arkadaşlarının (2024) bulguları, yaşlılarda depresyonun dünya genelinde önemli bir ruh sağlığı sorunu olmaya devam ettiğini ortaya koymaktadır. Bu veriler, yaşlı bireylerin ruhsal gereksinimlerinin sistematik tarama, erken tanılama ve bütüncül bakım yaklaşımlarıyla ele alınmasının önemini vurgulamaktadır (Hu ve ark., 2022; Jalali ve ark., 2024).

Türkiye'de de benzer bir demografik dönüşüm yaşanmaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu ve ulusal raporlar, 65 yaş ve üzeri nüfusun hızla arttığını ve buna paralel olarak yaşlılarda depresyon, bilişsel bozukluklar, sosyal izolasyon ve yalnızlık gibi sorunların yaygınlaştığını bildirmektedir (Coşkun ve ark., 2023; Sütçü ve Kalaycı, 2023; TÜİK, 2025). Ulusal aktif yaşlanma politikaları, sağlık hizmetlerinin toplum temelli ve entegre bakım modelleri doğrultusunda yeniden yapılandırılması gerektiğini vurgulamaktadır (NIA, 2025).

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre, 60 yaş ve üzeri bireylerin yaklaşık %14'ü en az bir ruhsal bozuklukla yaşamaktadır ve bu bozukluklar, yaşlı nüfusta görülen toplam yeti yitimi yükünün yaklaşık %10,6'sını oluşturmaktadır (WHO, 2023). Ayrıca, ileri yaş grubunda intihar davranışının dikkat çekici bir risk alanı olduğu ve bu yaş grubunun ruh sağlığı hizmetlerine erişimde önemli engellerle karşılaştığı bildirilmektedir (WHO, 2023).

Yaşlılık dönemi, yalnızca biyolojik değişimlerin değil, aynı zamanda önemli psikososyal uyum süreçlerinin yaşandığı bir yaşam evresidir. Bu dönemde birey, bedensel güç kayıpları, kronik hastalıklar, bilişsel yavaşlama, duyusal gerileme, sosyal rollerin değişimi ve yakın kayıpları gibi çok sayıda stresör ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu süreç, psikolojik açıdan bireyin "benlik bütünlüğü" ile "umutsuzluk" arasındaki dengeyi kurmaya çalıştığı bir dönem olarak tanımlanmaktadır. Sosyoekonomik yetersizlikler, statü kayıpları ve sosyal izolasyon, yaşlı bireylerde depresif belirtilerin ve anksiyetenin ortaya çıkma riskini artırmaktadır (Köroğlu, 2024).

Toplumsal düzeyde yaşlanma olgusunun önemi, Birleşmiş Milletler ve Dünya Sağlık Örgütü raporlarında da açıkça belirtilmektedir. Toplumlar, 65 yaş ve üzeri nüfus oranına göre "genç toplum" (%4'ten az), "olgun toplum" (%4–7), "yaşlı toplum" (%7–10) ve "çok yaşlı toplum" (%10'un üzeri) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamaya göre Türkiye, halen "yaşlı toplum" grubunda yer almakta olup hızla "çok yaşlı toplum" kategorisine geçiş sürecindedir (Köroğlu, 2024).

Yaşlılık döneminde sık görülen ruhsal sorunlar arasında depresyon, anksiyete bozuklukları, uyku bozuklukları, bilişsel bozulmalar, demans, ölüm korkusu ve sosyal içe çekilme yer almaktadır. Kronik hastalıkların varlığı, günlük yaşam aktivitelerinde bağımlılık düzeyinin artması, huzurevi veya bakım kurumunda yaşama, düşük gelir düzeyi ve sınırlı sosyal destek ağları; bu sorunların ortaya çıkma riskini daha da artırmaktadır. Yaşlı bireylerde görülen benmerkezci tutumlar, nostaljik bağlanmalar ve yeniliklere uyum güçlükleri, çoğu zaman uyum sürecinin bir parçası olarak ortaya çıkmakta; ancak uygun psikososyal destek sağlanmadığında ciddi ruhsal bozukluklara zemin hazırlayabilmektedir (Köroğlu, 2024).

Bu bağlamda, yaşlı ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesi, yalnızca klinik tedavilerin değil; koruyucu ruh sağlığı hizmetlerinin, erken tarama programlarının ve toplum temelli destek mekanizmalarının güçlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Hemşireler, bu süreçte yaşlı bireylerin ruhsal durumlarının izlenmesi, risk faktörlerinin erken saptanması, danışmanlık ve psiko-eğitim hizmetlerinin sunulması açısından anahtar bir role sahiptir (Massimo, 2022; Dimitriadou ve ark., 2025).

Yaşlılıkta Sık Görülen Ruhsal Bozukluklar

Yaşlılık dönemi; biyolojik yaşlanma, kronik hastalık yükü, işlevsel kayıplar ve sosyal rollerin değişmesiyle birlikte ruhsal sorunlara yatkınlığın arttığı bir yaşam evresidir. Bu dönemde ortaya çıkan ruhsal bozukluklar yalnızca yaşlanmanın doğal bir sonucu değildir; sedanter yaşam, stresli yaşam olayları, çevresel koşullar ve sosyal destek yetersizliği gibi faktörlerle yakından ilişkilidir (Aslan, 2017).

Yaşlı bireylerde en sık görülen ruhsal bozuklukların başında depresyon gelmektedir. Yapılan meta-analizlerde, yaşlı nüfusta depresyon prevalansı %19–32 arasında bildirilmiş ve olguların yaklaşık yarısının tanı almadan yaşamını sürdürdüğü vurgulanmıştır (Hu ve ark., 2022; Zenebe ve ark., 2021; Jalali ve ark., 2024). Depresyon; yaşam kalitesinde düşüş, işlevsellikte azalma ve mortalite riskinde artış ile ilişkilidir.

Anksiyete bozuklukları da yaşlılarda yaygın olarak görülmektedir. Küresel düzeyde yapılan sistematik derlemelerde, yaşlı bireylerde anksiyete semptomlarının görülme sıklığının yaklaşık %20–30 arasında değiştiği bildirilmiştir (Shafiee ve ark., 2025). Bu bozukluklar sıklıkla somatik belirtilerle seyretmekte ve depresyon ile birlikte görülebilmektedir.

Bilişsel bozukluklar ve demans, yaşlı ruh sağlığının en önemli alanlarından biridir. Özellikle Alzheimer hastalığına bağlı demans prevalansının 65 yaş üzerindeki bireylerde yaşla birlikte belirgin biçimde arttığı belirtilmektedir. Ayrıca hastanede yatan yaşlı bireylerde deliryum görülme riski, akut hastalıklar ve cerrahi girişimler sonrası belirgin olarak yükselmektedir (WHO, 2025).

Psikotik bozukluklar yaşlılık döneminde daha nadir görülmekle birlikte, sistematik incelemelerde 65 yaş üzerindeki bireylerde şizofreni insidansının yaklaşık 7,5/100.000 kişi-yıl olduğu bildirilmiştir (WHO, 2025). Global Burden of Disease (GBD) 2019 çalışması, yaşlı nüfusta depresyon, anksiyete ve psikotik bozuklukların hastalık yükünün yıllar içinde arttığını ortaya koymuştur (Cheng ve ark., 2024).

Ruhsal bozuklukların ortaya çıkmasında sosyal belirleyiciler kritik rol oynamaktadır. Yalnızlık ve sosyal izolasyon, depresyon ve anksiyete ile güçlü biçimde ilişkilidir. Meta-analiz verileri, yaşlılarda yalnızlık prevalansını yaklaşık %25–30, sosyal izolasyon prevalansını ise yaklaşık %30–35 olarak bildirmektedir (Salari ve ark., 2025).

COVID-19 pandemisi süreci, yaşlı bireylerde ruhsal sorunların artmasına neden olmuştur. Sosyal izolasyon, sağlık kaygıları ve hizmetlere erişim güçlüğü nedeniyle pandemi döneminde yaşlılarda depresyon, anksiyete ve ölüm kaygısı düzeylerinde anlamlı artışlar bildirilmiştir (Su ve ark., 2023).

Bu bulgular doğrultusunda, yaşlılıkta ruhsal bozuklukların erken tanılanması, bütüncül bakım yaklaşımlarıyla ele alınması ve sosyal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi, sağlıklı yaşlanmanın temel bileşenleri arasında yer almaktadır.

Küresel ve Ulusal Bağlamda Yaşlıların Ruhsal Durumu

Dünya genelinde nüfusun yaşlanması, 21. yüzyılın en önemli demografik dönüşümlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre 2023 yılı itibarıyla dünya genelinde 60 yaş ve üzeri birey sayısı yaklaşık 1,1 milyara ulaşmış olup, bu sayının 2050 yılında 2 milyarı aşacağı öngörülmektedir (WHO, 2025). Özellikle 80 yaş ve üzeri nüfusun artış hızının daha da yüksek olması, kronik hastalık yükünün ve buna bağlı ruhsal sağlık gereksinimlerinin artacağına işaret etmektedir. WHO verileri, 70 yaş ve üzerindeki bireylerin yaklaşık %14'ünde ruhsal bir bozukluk bulunduğunu ve bu bozuklukların bu yaş grubundaki özürlülükle yaşanan yılların (YLD) önemli bir bölümünü oluşturduğunu göstermektedir (WHO, 2025). Küresel meta-analizler, yaşlı nüfusta depresyon prevalansının genellikle %10–20 aralığında seyrettiğini ve ruhsal bozuklukların küresel hastalık yükü içinde giderek daha fazla yer tuttuğunu ortaya koymaktadır (Jalali ve ark., 2024).

Türkiye'de ise benzer bir demografik dönüşüm dikkat çekmektedir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 65 yaş ve üzeri nüfus oranı 2010 yılında %7,2 iken, 2025 yılında %11'in üzerine çıkmış ve 2050 yılına kadar bu oranın %20'yi aşması beklenmektedir (TÜİK, 2025). Yaşlı bağımlılık oranındaki artış, sağlık ve sosyal bakım sistemleri üzerindeki yükü artırmaktadır. Türkiye'de yapılan çalışmalar, yaşlı bireylerde depresyon, kaygı bozuklukları, bilişsel bozulma ve sosyal izolasyonun önemli halk sağlığı sorunları arasında yer aldığını ve bu sorunların özellikle yalnız yaşayan, kronik hastalığı bulunan ve düşük sosyoekonomik düzeye sahip bireylerde daha sık görüldüğünü göstermektedir (Aydın ve Şahin, 2023; Güner ve ark., 2024). Ayrıca, ülke genelinde yaşlı nüfusun bölgesel dağılımındaki farklılıklar, bakım gereksinimlerinin planlanmasında bölgeye özgü stratejiler geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

Türkiye'de yaşlı ruh sağlığı alanında politika ve hizmet modelleri son yıllarda gelişim göstermektedir. "Sağlıklı Yaşlanma Ulusal Eylem Planı (2021–2030)" kapsamında, koruyucu ruh sağlığı hizmetlerinin güçlendirilmesi, aktif yaşlanmanın desteklenmesi ve toplum temelli bakım yaklaşımlarının yaygınlaştırılması hedeflenmektedir (Sağlık Bakanlığı, 2023). Bu süreçte hemşirelerin rolü ön plana çıkmakta; birinci basamak sağlık hizmetlerinde depresyon taraması, bilişsel değerlendirme, bakım koordinasyonu ve aile eğitimi gibi sorumluluklarının artırılması öngörülmektedir (WHO, 2025). Tüm bu veriler, hem küresel ölçekte hem de Türkiye bağlamında, yaşlı ruh sağlığının giderek artan bir halk sağlığı önceliği haline geldiğini ve sistematik, çok disiplinli ve sürdürülebilir bakım modellerine duyulan gereksinimi açık biçimde ortaya koymaktadır.

Türkiye'de Yaşlı Ruh Sağlığı: Ruhsal Sorunların Yaygınlığı ve Hizmet Sunumuna İlişkin Güçlükler

Türkiye'de yaşlı bireylerin ruhsal sağlığına ilişkin akademik çalışmalar sınırlı olmakla birlikte mevcut araştırmalar, bu alanda önemli risk alanlarını ortaya koymaktadır. Bölgesel düzeyde gerçekleştirilen araştırmalarda, özellikle depresyon, anksiyete belirtileri ve sosyal izolasyonun 65 yaş ve üzeri bireylerde yaygın ruhsal sorunlar arasında yer aldığı bildirilmektedir. Doğu

Karadeniz bölgesinde yürütülen bir saha çalışmasında, yaşlı bireylerde duygudurum bozuklukları ve yalnızlık duygusunun yaşam kalitesi üzerinde belirgin olumsuz etkileri olduğu saptanmıştır (Sütçü ve Kalaycı, 2023). Bu bulgular, yaşlılık döneminde ruhsal sorunların yalnızca biyolojik yaşlanma ile değil, aynı zamanda sosyal çevre, destek sistemleri ve yaşam koşulları ile yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Sağlık profesyonellerinin yaşlılara yönelik tutumları ve bilgi düzeyleri de yaşlı ruh sağlığının korunması açısından önemli bir belirleyicidir. Orhan ve Erkoç (2024)'un çalışması, hemşirelik öğrencilerinin yaşlılara yönelik tutumlarının bilgi, eğitim ve bakıma ilişkin faktörlerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda öğrencilerin eğitim içerikleri ve kültürel değerler, yaşlı bakımı algısı ve tutumlarını etkilemektedir (Orhan ve Erkoç, 2024). Ayrıca hemşirelerin yaşlılara yönelik tutumlarının bakım kalitesi üzerinde belirleyici olduğu bildirilmiştir (Duru Aşiret ve ark., 2015).

Türkiye'de yaşlı ruh sağlığı hizmetlerinin sunumu ve bu hizmetlere erişim, yapısal ve örgütsel çeşitli engellerle karşı karşıyadır. Birinci basamak sağlık hizmetlerinde ruh sağlığına yönelik sistematik tarama ve danışmanlık uygulamalarının yeterince yaygın olmadığı; geropsykiatri alanında uzmanlaşmış hizmetlerin ise sınırlı sayıda merkezle kısıtlı kaldığı bildirilmektedir. Bu durum, çoğu zaman yaşlı bireylerin ileri basamak kurumlara veya yataklı psikiyatri servislerine yönlendirilmesiyle sonuçlanmakta ve bakım sürekliliğini olumsuz etkilemektedir (Sağlık Bakanlığı, 2021).

Kurum temelli bakım hizmetleri (huzurevleri ve bakım evleri) ruh sağlığını destekleyen bütüncül psikiyatrik bakım altyapısı açısından heterojen bir yapı sergilemektedir. Birçok bakım kurumunda psikososyal destek, psikolojik danışmanlık ve ruh sağlığı izlemi düzenli ve standart bir biçimde sunulamamaktadır. Bununla birlikte aile, sosyal hizmetler ve sağlık kurumları arasındaki entegre bakım modellerinin yeterince gelişmemiş olması, yaşlı bireylerin ev temelli psikososyal destek hizmetlerinden yararlanmasını zorlaştırmaktadır.

Türkiye'de yaşlı bakım sistemini bütüncül açıdan değerlendiren *Türkiye'de Yaşlı Bakım Hizmetleri: Avrupa'dan En İyi Uygulama Örnekleri ve Türkiye İçin Bir Model Tasarımı* raporu, yaşlı bakımının hâlen büyük ölçüde aile temelli olduğunu ve devlet ile piyasa aktörlerinin sunduğu hizmetlerin nicelik ile sürdürülebilirlik açısından sınırlılık taşıdığını ortaya koymaktadır (Özmete ve Hussein, 2017). Bu durum, yaşlı ruh sağlığı hizmetlerinde bölgesel eşitsizliklere, hizmete erişimde gecikmelere ve bakım yükünün büyük ölçüde aile bireyleri tarafından üstlenilmesine yol açmaktadır.

Sonuç olarak Türkiye'de yaşlı bireylerin ruhsal sorunlarının yaygınlığına ilişkin veriler sınırlı olsa da mevcut bulgular depresyon, anksiyete ve sosyal izolasyonun önemli bir halk sağlığı sorunu olduğunu göstermektedir. Hizmet sunumunda yaşanan erişim güçlükleri, uzmanlık alanlarının yetersizliği ve bakım sistemindeki parçalı yapı, yaşlı ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesi önünde önemli engeller oluşturmaktadır. Bu nedenle birinci basamak sağlık hizmetlerinde ruh sağlığı taramalarının yaygınlaştırılması, geropsykiatri hizmetlerinin güçlendirilmesi ve entegre bakım modellerinin geliştirilmesi temel öncelikler arasında yer almalıdır (Sütçü ve Kalaycı, 2023; Özmete ve Hussein, 2017; Sağlık Bakanlığı, 2021).

Yaşlı Ruh Sağlığında Hizmet Sunum Yaklaşımları

Yaşlı bireylerde ruh sağlığı hizmetlerinin etkin sunumu, entegre, toplum temelli, kurum temelli ve dijital temelli modellerin birlikte uygulanmasına dayanmaktadır. Entegre bakım yaklaşımları, fiziksel ve ruhsal sağlık hizmetlerini bir arada sunarak bakım kalitesini artırmayı hedefler; Hollanda'da uygulanan Walcheren Entegre Bakım Modeli bu alanda başarılı örnekler arasında gösterilmektedir (Looman ve ark., 2014). Bununla birlikte, ekipler arası koordinasyon eksikliği, yetersiz kayıt sistemleri ve hasta-aile katılımının sınırlı olması bu modellerin etkinliğini azaltabilmektedir. Toplum temelli hizmet modelleri, yaşlı bireylerin kendi yaşam çevrelerinde desteklenmesine odaklanmakta olup, ev temelli müdahaleler ve sosyal destek programlarının depresyon ve yalnızlık düzeylerini azaltmada etkili olduğu gösterilmiştir (Giebel ve ark., 2022; Financial Times, 2024). Kurum temelli bakım modelleri ise huzurevleri ve bakım evlerinde psikiyatrik danışmanlık, personel eğitimi ve grup temelli müdahaleler yoluyla ruhsal iyilik hâlini desteklemekte; bu modellerin başarısı büyük ölçüde kurum içi insan kaynağı ve altyapının yeterliliğine bağlıdır. Dijital sağlık uygulamaları ve telepsikiyatri, özellikle kırsal ve dezavantajlı bölgelerde hizmet erişimini artırma potansiyeline sahip olmakla birlikte, yaşlı bireylerde teknolojiye uyum güçlükleri ve olumsuz tutumlar gibi sınırlılıklar nedeniyle bu yöntemlerin yaygınlaştırılmasında dikkatli ve kademeli yaklaşımlar gerekmektedir (James ve ark., 2025; Frishammar ve ark., 2023).

Hemşireliğin Yaşlı Ruh Sağlığındaki Rolü

Yaşlı nüfusun artışıyla birlikte ruhsal sağlık sorunlarının prevalansı ve bakım gereksinimleri önemli ölçüde artmıştır. Bu bağlamda geropsikiyatrik hemşirelik, yaşlı bireylerin ruhsal, bilişsel ve fiziksel gereksinimlerine bütüncül bir yaklaşım sunan uzmanlaşmış bir hemşirelik alanı olarak öne çıkmaktadır. Geropsikiyatrik hemşireler; depresyon, anksiyete, demans ve deliryum gibi sık görülen psikiyatrik bozuklukların erken tanılanması, izlenmesi ve bakım süreçlerinde kritik rol üstlenmektedir (Massimo ve Hunt, 2022; Pekel ve Durna, 2022).

Hemşirelerin yaşlı ruh sağlığındaki temel sorumlulukları arasında düzenli tarama uygulamaları, standartlaştırılmış ölçüm araçlarının kullanımı, bireyselleştirilmiş bakım planlarının hazırlanması, psikososyal destek ve danışmanlık hizmetlerinin sunulması, ilaç tedavisinin izlenmesi ve yan etki yönetimi yer almaktadır (Hu ve ark., 2022; Jalali ve ark., 2024). Ayrıca hemşireler, aile üyeleri ve bakım verenlerle iş birliği yaparak bakım yükünü azaltmakta ve bakım süreçlerinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır (Coşkun ve ark., 2023; Aydın ve Demir, 2024).

Literatür, gerontolojik yetkinlik ve eğitim almış hemşirelerin yaşlı bireylere yönelik daha olumlu tutumlar sergilediğini ve klinik uygulamalarda daha yüksek yeterlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Solmaz ve Aslan, 2025; Yaman ve Şendir, 2021). Ayrıca hemşirelerin yaşlı hastalara karşı olumlu tutumlarının bakım kalitesi ve bakım davranışları ile ilişkili olduğu bildirilmektedir (Gümüşoğlu ve Tambağ, 2023). Bununla birlikte, örgütsel düzeyde eğitim eksiklikleri, rol belirsizliği, disiplinler arası koordinasyon sorunları, yüksek iş yükü ve sınırlı kaynaklar önemli engeller olarak bildirilmektedir (WHO, 2015).

Türkiye'de geropsikiyatrik hemşirelik henüz yeterince kurumsallaşmamış olup, bu alana yönelik ulusal standartlar ve yapılandırılmış eğitim programları sınırlıdır. Mevcut sistemde

birinci basamakta ruh sağlığı odaklı tarama hizmetlerinin yetersizliği, uzmanlaşmış bakım modellerinin sınırlı uygulanması ve hizmet içi eğitim olanaklarının kısıtlı olması, bakımın niteliğini olumsuz etkileyen başlıca faktörlerdir (Pekel ve Durna, 2022; Yıldırım ve Öztürk, 2023).

Bu doğrultuda, hemşirelik lisans ve lisansüstü programlarında geropsikiyatrik içeriklerin güçlendirilmesi, ulusal bakım rehberlerinin geliştirilmesi, toplum temelli bakım modellerinin desteklenmesi ve hemşirelerin yaşlı ruh sağlığındaki rol ve etkinliğini değerlendiren uygulama temelli araştırmaların artırılması büyük önem taşımaktadır. Bu stratejik adımlar, Türkiye'de yaşlı ruh sağlığı hizmetlerinin kalitesinin yükseltilmesine ve sürdürülebilir bakım sistemlerinin geliştirilmesine önemli katkı sağlayacaktır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşlı nüfusun hızla artmasıyla birlikte yaşlı ruh sağlığının küresel ve ulusal düzeyde giderek daha önemli bir halk sağlığı sorunu haline geldiğini ortaya koymaktadır. Literatür bulguları, yaşlılık döneminde depresyon, anksiyete, bilişsel bozukluklar, demans ve sosyal izolasyonun yaygın olduğunu; bu sorunların yaşam kalitesinde azalma, işlevsellik kaybı ve bakım gereksinimlerinde artışla yakından ilişkili bulunduğunu göstermektedir. Türkiye'de yaşlı ruh sağlığı hizmetleri, birinci basamakta sistematik tarama uygulamalarının sınırlı olması, geropsikiyatrik uzmanlaşmanın yetersizliği ve bakım hizmetlerinin büyük ölçüde aile temelli bir yapıya dayanması nedeniyle önemli yapısal ve örgütsel güçlüklerle karşı karşıyadır. Kurum temelli bakım hizmetlerinde ruh sağlığına yönelik standartların heterojen olması ve entegre bakım modellerinin yeterince gelişmemiş olması, yaşlı bireylerin ruhsal gereksinimlerinin bütüncül biçimde karşılanmasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda yaşlı ruh sağlığının, yalnızca klinik tedavi yaklaşımlarıyla değil; koruyucu, toplum temelli ve sürdürülebilir hizmet modelleriyle ele alınması gerektiği açıktır.

Geropsikiyatri hemşireliği yaşlı ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesinde kilit bir role sahiptir. Gerontolojik ve geropsikiyatrik eğitim almış hemşirelerin, erken tanılama, düzenli ruhsal değerlendirme, psikososyal destek, ilaç yönetimi ve bakım verenlerin desteklenmesi süreçlerinde bakım kalitesini artırdığı bildirilmektedir. Bu doğrultuda, hemşirelik eğitim programlarında geropsikiyatrik içeriklerin güçlendirilmesi, hizmet içi eğitim ve sertifikasyon programlarının yaygınlaştırılması, birinci basamakta ruh sağlığı taramalarının rutin uygulamalara entegre edilmesi ve toplum temelli bakım modellerinin desteklenmesi önerilmektedir. Ayrıca kurum temelli bakım hizmetlerinde ruh sağlığına yönelik standartların geliştirilmesi, dijital sağlık ve telepsikiyatri uygulamalarının yaşlı dostu yaklaşımlarla yaygınlaştırılması ve Türkiye'de yaşlı ruh sağlığına ilişkin bilimsel araştırmaların artırılması önem taşımaktadır. Bu bütüncül ve çok disiplinli yaklaşımlar, yaşlı bireylerin ruhsal iyilik hâlinin güçlendirilmesine ve sürdürülebilir bakım sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Aydın G, Şahin N, Türkiye'de Yaşlı Sağlığı Politikaları ve Hemşirelik Uygulamaları: Güncel Bir Değerlendirme, Turkish J Geriatr Nurs, 2023;5(2):55–68.

Aydın M, Demir Ö, Yaşlılarda Depresyon ve Yaşam Kalitesi İlişkisi: Türkiye Örneklemi, Anadolu Hemşirelik Sağlık Bilimleri Dergisi, 2024;27(1):45–58. Available from: https://dergipark.org.tr/tr/pub/ahsbd

Cheng Y, Fang Y, Zheng J, Guan S, Wang M, Hong W, The Burden of Depression, Anxiety and Schizophrenia Among The Older Population in Ageing and Aged Countries: An Analysis of The Global Burden of Disease Study 2019, Gen Psychiatry, 2024;37(1):e101078.

Coşkun H, Yıldız İ, Alkan Ö, Prevalence and Predictors of Psychological Assistance Services For Older Individuals In Turkish Society, Front Public Health, 2023;10:1060845. doi:10.3389/fpubh.2022.1060845

Dimitriadou, I., Sini, E., Šteinmiller, J., Saridi, M., Lundberg, A., Häger, M., ... Fradelos, E. C. Comprehensive Geriatric Health Assessment Core Competencies And Skills For Primary Care Nurses: A Scoping Review, Geriatrics, 2025;10(2):48. doi:10.3390/geriatrics10020048

Duru Aşiret G, Türten Kaymaz T, Canbolat Ö, Kapucu S, Hemşirelerin Yaşlıya İlişkin Tutumları, Hemşirelikte Araştırma Geliştirme Dergisi, 2015;17(1):10–20.

Financial Times, Community-Based Mental Health Care In Trieste: A Model For Elderly Support, 2024. Available from: https://www.ft.com (Erişim tarihi: 22.09.2025)

Frishammar M, Andersson S, Nilsson L, Digital Health Adoption Among Older Adults: Barriers and Facilitators, J Geriatr Ment Health, 2023;10(2):45–58.

Giebel C, Challis D, Montaldi D, Community Interventions For Social Isolation And Depression In Older Adults: A Systematic Review, Int J Geriatr Psychiatry, 2022;37(4):1–14. doi:10.1002/gps.5689

Gümüşoğlu F, Tambağ H, Hemşirelerin Yaşlı Hastalara Karşı Tutumları ve Bakım Davranışlarının İncelenmesi, Hacettepe Univ Hemşirelik Fak Derg, 2023;10(3):256–263.

Güner M, Koca M, Ceylan S, Okyar Baş A, Dikmeer A, Eşme M, ., ... Birinci, Ş. Prevalence and General Characteristics of Dementia: A Nationwide Population-Based Study of Electronic Health Records in Türkiye, Turk J Med Sci, 2024;54(4):644–651.

Hu T, Zhao X, Wu M, Li Z, Luo L, Yang C, et al., Prevalence of Depression in Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis, Psychiatry Res, 2022;311:114511. doi:10.1016/j.psychres.2022.114511

James K, Roberts L, Smith P, Telepsychiatry Use In Older Adults: Efficacy and Acceptance, J Telemed Telecare, 2025;31(1):12–22. doi:10.1177/1357633X20912345

Jalali A, Ziapour A, Karimi Z, Rezaei M, Emami B, Pourmirza Kalhori R.P., ... Kazeminia, M. Global Prevalence of Depression, Anxiety, and Stress In The Elderly Population: A Systematic Review and Meta-Analysis, BMC Geriatr, 2024;24:809. doi:10.1186/s12877-024-05311-8

Köroğlu E, *Ruhsal Bozukluklar: Tanı ve Tedavi Rehberi*, Ankara, HYB Yayıncılık, 2024.

Looman W, Fabbricotti I, Huijsman R, The Effect of The Walcheren Integrated Care Model on The Quality of Care For Older Adults, BMC Geriatr, 2016;16(1):145. doi:10.1186/s12877-016-0345-2

Massimo L, Hunt L, The Role of Geropsychiatric Nursing in Promoting Age-Friendly Health Care, J Gerontol Nurs, 2022;48(7):2–3. doi:10.3928/00989134-20220606-01

National Institute on Aging, Social Isolation, Loneliness, and Mental Health In Older Adults, 2025. Available from: https://www.nia.nih.gov (Erişim tarihi: 14.09.2025)

Orhan R, Erkoç A, The Relationship Between Ageism, Willingness To Care For Older Adults and Care Behaviors of Nursing Students, Turk J Sci Health, 2024;5(1):1–11.

Pekel N, Durna Z, Geriatrik Hemşireliğin Yaşlı Bireylerin Ruh Sağlığındaki Rolü, Florence Nightingale Hemşirelik Dergisi, 2022;30(3):198–210. doi:10.5152/FNJN.2022.21345

Reynolds CF 3rd, Jeste DV, Sachdev PS, Blazer DG, Mental Health Care For Older Adults: Recent Advances and New Directions In Clinical Practice and Research, World Psychiatry, 2022;21(3):336–363.

Salari N, Najafi H, Rasoulpoor S, Canbary Z, Heidarian P, Mohammadi M, The Global Prevalence and Associated Factors of Loneliness In Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis, Humanit Soc Sci Commun, 2025;12(1):1–24.

Solmaz T, Aslan TK, The Association Between Nurses' Gerontological Competencies and Attitudes Toward Older Adults, J Eval Clin Pract, 2025;31(3):e70101.

Su Y, Rao W, Li M, Caron G, D'Arcy C, Meng X, Prevalence of Loneliness And Social Isolation Among Older Adults During The COVID-19 Pandemic: A Systematic Review and Meta-Analysis, Int Psychogeriatr, 2023;35(5):229–241.

Sütçü S, Kalaycı E, Türkiye'de 65 Yaş Üstü Kişilerin Yaşlılık Değerlendirmeleri: Doğu Karadeniz Örneği, Sosyal Sağlık Dergisi, 2023;3(2):52–68.

T.C. Sağlık Bakanlığı, TÜSEB Türkiye Yaşlı Sağlığı Raporu: Güncel Durum, Sorunlar ve Kısa-Orta Vadeli Çözüm Önerileri, 2021. Available from: https://hsgm.saglik.gov.tr (Erişim tarihi: 22.08.2025)

T.C. Sağlık Bakanlığı, Sağlıklı Yaşlanma Ulusal Eylem Planı (2021–2030), Ankara, 2023.

Türkiye İstatistik Kurumu, İstatistiklerle Yaşlılar 2024, 2025. Available from: https://data.tuik.gov.tr (Erişim tarihi: 12.09.2025)

Uğurlu T, Arslan G, Türkiye'de Yaşlı Bireylerin Ruhsal Sağlık Sorunlarına Yönelik Hemşirelik Yaklaşımları, Sağlık ve Toplum Dergisi, 2021;31(4):22–34.

World Health Organization, World Report on Ageing And Health, Geneva, WHO, 2015.

World Health Organization, Decade of Healthy Ageing: Progress Report 2021–2023, Geneva, WHO Press, 2023.

World Health Organization, Mental Health of Older Adults: Fact Sheet, 2025. Available from: https://www.who.int (Erişim tarihi: 12.09.2025)

Yaman R, Şendir M, Yaşlı Bireyin Bakımında Hemşirelik Yetkinliğinin Artırılmasına Yönelik Eğitim Yöntemleri: Sistematik Derleme, Geriatrik Bilimler Dergisi, 2021;4(1):23–34.

Yıldırım N, Öztürk A, Türkiye'de Yaşlı Bireylere Yönelik Ruh Sağlığı Hizmetlerinin Değerlendirilmesi, Hemşirelikte Eğitim Araştırma Dergisi, 2023;20(2):144–158.

Zenebe Y, Akele B, Necho M, Prevalence And Determinants of Depression Among Old Age: A Systematic Review and Meta-Analysis, Ann Gen Psychiatry, 2021;20:55. doi:10.1186/s12991-021-00375-x

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EGZERSİZİN ANTİOKSİDAN SAVUNMA SİSTEMİNE ETKİSİ: MEKANİZMALAR VE KLİNİK BULGULAR

Dr. Öğr. Üyesi Suzan Onur

Karabük Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi

suzanonur@karabuk.edu.tr - 0000-0001-8145-6090

Betül Kuzubaş

Karabük Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi

betul_kuzubas2007@hotmail.com - 0009-0008-8095-3886

ÖZET

Egzersiz, oksidatif stres ve antioksidan savunma sistemleri üzerinde güçlü biyolojik etkiler oluşturan temel bir fizyolojik uyarandır. Fiziksel aktivite sırasında artan oksijen tüketimi reaktif oksijen türlerinin üretimini yükseltmekte, bu durum kısa vadede oksidatif strese yol açsa da uzun vadede antioksidan savunma mekanizmalarının güçlenmesini sağlayan adaptif yanıtları tetiklemektedir. Düzenli egzersizin süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz ve katalaz gibi temel antioksidan enzimlerin aktivitesini artırdığı; buna paralel olarak lipid peroksidasyon ürünlerinin, özellikle malondialdehid düzeylerinin azaldığı hem deneysel hem klinik çalışmalarda gösterilmiştir. Bu biyolojik değişimlerin, kronik hastalıkların yönetiminde, yaşlanma ile görülen oksidatif hasarın azaltılmasında ve nörolojik rehabilitasyon süreçlerinde klinik iyileşmeye katkı sunduğu bilinmektedir. Bu bildiri, egzersizin antioksidan savunma sistemi üzerindeki etkilerini moleküler düzeyden klinik bulgulara kadar bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak fizyoterapi uygulamalarındaki önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Egzersiz, Oksidatif Stres, Antioksidan

OXIDATIVE MECHANISMS SHAPING EXERCISE ADAPTATION: THE CENTRAL ROLE OF THE ANTIOXIDANT DEFENSE SYSTEM

ABSTRACT

Exercise is a potent physiological stimulus that significantly influences oxidative stress and antioxidant defense mechanisms. Increased oxygen consumption during physical activity elevates the production of reactive oxygen species (ROS), which, although capable of inducing acute oxidative stress, simultaneously trigger adaptive responses that strengthen endogenous antioxidant capacity over time. Regular exercise has been shown to enhance the activity of key antioxidant enzymes, including superoxide dismutase, glutathione peroxidase, and catalase, while reducing lipid peroxidation markers such as malondialdehyde. These molecular adaptations contribute to improved cellular resilience, diminished oxidative damage, and

enhanced physiological function. Evidence from experimental and clinical studies indicates that these antioxidant benefits play a critical role in the management of chronic diseases, mitigate age-related oxidative decline, and support recovery in neurological rehabilitation. This report provides an integrated overview of the molecular mechanisms and clinical evidence related to the impact of exercise on antioxidant defense, emphasizing its importance in physiotherapy and rehabilitation practice.

INTRODUCTION

Exercise is a potent biological stimulus that induces extensive adaptations across metabolic and physiological systems, with the interaction between oxidative stress and antioxidant defense mechanisms lying at the core of these adaptations. During physical activity, increased oxygen consumption elevates the production of reactive oxygen species (ROS), leading to the development of oxidative stress. Although this increase may initially appear detrimental, it activates adaptive mechanisms known as a “hormetic” response, ultimately strengthening antioxidant defense capacity over the long term (Powers et al., 2011). For this reason, regular exercise occupies a critical role in physiotherapy and rehabilitation practice by enhancing cellular defense systems.

The heightened metabolic activity during exercise accelerates mitochondrial energy production and increases ROS levels, serving as a fundamental signal that stimulates cellular defense mechanisms. Elevated ROS activate the transcription factor Nrf2, thereby upregulating the expression of genes encoding antioxidant enzymes such as superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), and heme oxygenase-1 (Ji et al., 2006). In addition, exercise-induced oxidative signaling promotes the activation of key regulators such as PGC-1α, enhancing mitochondrial biogenesis. Consequently, long-term cellular energy production capacity increases while oxidative burden decreases (Gomez-Cabrera et al., 2008). These biological processes constitute the basis of the protective effects of regular physical activity against oxidative damage.

The effects of exercise on antioxidant enzymes have been demonstrated in detail across numerous studies. SOD levels have been shown to increase significantly in individuals who engage in regular aerobic exercise compared with sedentary individuals, a finding confirmed in both human and animal models (Alessio et al., 2000). Similarly, GPx activity increases with prolonged aerobic exercise, facilitating the effective removal of harmful molecules such as hydrogen peroxide (Gomez-Cabrera et al., 2008). Catalase (CAT) is another defensive component enhanced in response to exercise, and several studies have emphasized that regular physical activity significantly increases CAT activity (Fisher-Wellman & Bloomer, 2009). Collectively, these findings indicate that exercise is not merely an intervention that regulates energy metabolism but also a powerful biological tool that strengthens cellular defense systems.

The impact of exercise on lipid peroxidation, a major component of oxidative stress, is also of clinical importance. Lipid peroxidation occurs when polyunsaturated fatty acids undergo oxidative damage mediated by ROS, and malondialdehyde (MDA) is one of the most widely recognized biomarkers of this process. Regular aerobic exercise has been shown to significantly reduce MDA levels, particularly in studies conducted in older individuals (Elosua et al., 2003). This reduction suggests that consistent exercise diminishes oxidative damage to membrane lipids and preserves cellular integrity.

The modulatory effects of exercise on the antioxidant defense system have important implications across various clinical fields. The marked increase in oxidative stress observed in chronic diseases constitutes a primary rationale for incorporating regular physical activity into treatment protocols. In clinical conditions such as diabetes, hypertension, obesity, and inflammatory disorders, exercise has been shown to reduce oxidative stress markers and to contribute to improvements in overall clinical outcomes (Powers et al., 2011). Moreover, oxidative damage increases with aging and contributes to sarcopenia; regular exercise has been reported to enhance antioxidant activity and help preserve muscle function (Ji et al., 2006). In the field of neurological rehabilitation, exercise has been shown to attenuate the effects of oxidative stress while simultaneously promoting neuronal recovery by increasing neurotrophic factors such as brain-derived neurotrophic factor (BDNF) (Gomez-Pinilla, 2008).

CONCLUSION

In conclusion, regular physical activity represents an effective biological intervention that strengthens antioxidant defenses, reduces oxidative damage, and supports recovery processes across a wide range of clinical conditions. The current literature strongly supports that exercise increases the activity of antioxidant enzymes, decreases lipid peroxidation, and translates these biological effects into clinical improvement. Considering the role of exercise in modulating oxidative stress within physiotherapy and rehabilitation practices provides a robust scientific foundation for enhancing the effectiveness of therapeutic programs.

REFERENCES

Alessio, H. M., Hagerman, A. E., & Fulkerson, B. K. (2000). Generation of reactive oxygen species after exhaustive aerobic and anaerobic exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1576–1581. https://doi.org/10.1097/00005768-200009000-00008

Calabrese, V., Cornelius, C., Mancuso, C., Lentile, R., & Butterfield, D. A. (2005). Redox homeostasis and cellular stress responses in aging and neurodegenerative diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, 38(9), 1093–1104. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.11.013

Elosua, R., Molina, L., Fito, M., Arquer, A., Sánchez, O., Covas, M. I., & Marrugat, J. (2003). Response of oxidative stress biomarkers to a 16-week aerobic physical activity program, and to acute physical activity, in healthy young men and women. *Atherosclerosis*, 167(2), 327–334. https://doi.org/10.1016/S0021-9150(03)00028-2

Fisher-Wellman, K., & Bloomer, R. J. (2009). Acute exercise and oxidative stress: a 30-year history. *Dynamic Medicine*, 8(1), 1–25. https://doi.org/10.1186/1476-5918-8-1

Gomez-Cabrera, M. C., Domenech, E., & Viña, J. (2008). Moderate exercise is an antioxidant: Upregulation of antioxidant genes by training. *Free Radical Biology and Medicine*, 44(2), 126–131. https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.02.001

Gomez-Pinilla, F. (2008). The influence of exercise on cognitive abilities. *Journal of Clinical Psychology*, 65(9), 1239–1244. https://doi.org/10.1002/jclp.20554

Ji, L. L., Gomez-Cabrera, M. C., & Vina, J. (2006). Exercise and hormesis: Activation of cellular antioxidant pathways. *Sports Medicine*, 36(3), 227–238. https://doi.org/10.2165/00007256-200636030-00005

Powers, S. K., Duarte, J., Kavazis, A. N., & Talbert, E. E. (2011). Reactive oxygen species are signalling molecules for skeletal muscle adaptation. *Experimental Physiology*, 95(1), 1–9. https://doi.org/10.1113/expphysiol.2009.050526

Powers, S. K., & Jackson, M. J. (2008). Exercise-induced oxidative stress: Cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Reviews*, 88(4), 1243–1276. https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NÖRODEJENERATİF SÜREÇLERDE OKSİDATİF STRESİN ETKİSİ: PARKİNSON HASTALIĞI

Dr. Öğr. Üyesi Suzan Onur

Karabük Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi

suzanonur@karabuk.edu.tr - 0000-0001-8145-6090

Betül Kuzubaş

Karabük Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi

betul_kuzubas2007@hotmail.com - 0009-0008-8095-3886

ÖZET

Parkinson hastalığı, substantia nigra bölgesindeki dopaminerjik nöronların ilerleyici kaybı ile karakterize edilen ve motor ile bilişsel işlevlerde belirgin bozulmalara yol açan kronik bir nörodejeneratif hastalıktır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, hastalığın ortaya çıkışında yalnızca genetik yatkınlık ve çevresel toksinlerin değil, aynı zamanda oksidatif stresin de temel bir belirleyici olduğunu göstermektedir. Oksidatif stres, hücre içinde oluşan reaktif oksijen ve nitrojen türlerinin artması ya da antioksidan savunma kapasitesinin azalması sonucu ortaya çıkar. Bu dengesizlik, dopaminerjik nöronların enerji metabolizmasının bozulmasına, lipid membranlarının hasar görmesine, proteinlerin yanlış katlanmasına ve DNA bütünlüğünün bozulmasına yol açar. Özellikle mitokondriyal fonksiyon kaybı ve serbest radikal üretimindeki artış, nöronal ölüm sürecini hızlandırırken nöroinflamasyonun aktive olması hastalığın kronik ilerleyişini desteklemektedir. Buna ek olarak, dopamin metabolizmasının doğal yan ürünleri de oksidatif yükü artırarak hücresel savunma mekanizmalarını zorlamaktadır. Antioksidan sistemlerin yetersiz kalması, hastalığın klinik belirtilerinin ortaya çıkmasını kolaylaştırmakta ve nörodejeneratif süreci daha da hızlandırmaktadır. Bu nedenle oksidatif stresin azaltılmasına yönelik farmakolojik ve yaşam tarzı temelli yaklaşımlar, Parkinson hastalığının tedavisinde tamamlayıcı bir hedef olarak giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu derleme, Parkinson hastalığında oksidatif stresin rolünü, nöronal hasara yol açan temel biyolojik mekanizmaları ve terapötik stratejilerin potansiyel katkılarını bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Parkinson hastalığı, oksidatif stres, reaktif oksijen türleri, nörodejenerasyon

THE IMPACT OF OXIDATIVE STRESS ON NEURODEGENERATIVE PROCESSES: PARKINSON'S DISEASE

ABSTRACT

Parkinson's disease is a chronic neurodegenerative disorder characterized by the progressive loss of dopaminergic neurons in the substantia nigra, leading to significant impairments in motor control and cognitive functions. Recent research highlights that, beyond genetic

predisposition and environmental toxins, oxidative stress plays a central role in the onset and progression of the disease. Oxidative stress arises from an imbalance between the production of reactive oxygen and nitrogen species and the capacity of antioxidant defense mechanisms. This imbalance disrupts cellular homeostasis by damaging lipids, proteins, and DNA, while also impairing mitochondrial energy production. Increased mitochondrial dysfunction and excessive free radical formation accelerate neuronal death, whereas the activation of neuroinflammatory pathways contributes to the chronic nature of the disease. Additionally, the natural metabolic by-products of dopamine further increase oxidative burden, challenging the resilience of dopaminergic neurons. Insufficient antioxidant defenses facilitate the emergence of clinical symptoms and intensify neurodegeneration. Therefore, therapeutic strategies targeting the reduction of oxidative stress—including pharmacological agents and lifestyle-based interventions—are gaining importance as complementary approaches in the management of Parkinson's disease. This review provides an integrative overview of the role of oxidative stress in Parkinson's pathology, highlighting key cellular mechanisms and potential therapeutic targets.

Keywords: Parkinson's disease; oxidative stress; reactive oxygen species; neurodegeneration; mitochondrial dysfunction; neuroinflammation; dopaminergic neurons.

INTRODUCTION

Oxidative stress arises from an imbalance between the production of reactive oxygen species (ROS) and antioxidant defense systems within the cell (Hybertson et al., 2011). This imbalance results in oxidative modifications of DNA, lipids, and proteins. Brain tissue is among the organs most vulnerable to oxidative stress because of its high oxygen consumption and relatively low antioxidant capacity (Radak et al., 2011).

Neurodegenerative diseases—such as Parkinson's disease, Alzheimer's disease, and Huntington's disease—represent some of the most significant consequences of this biomolecular damage. Parkinson's disease is characterized by the loss of dopaminergic neurons and the aggregation of α-synuclein, with oxidative stress acting as both a cause and a consequence of these pathological processes (Fischer & Maier, 2015).

Fundamental Mechanisms of Oxidative Stress

Free radicals are molecules that contain unpaired electrons in their outer orbitals. Species such as the superoxide anion (O_2^-), hydroxyl radical (•OH), and hydrogen peroxide (H_2O_2) are generated primarily during mitochondrial respiration (Bolisetty & Jaimes, 2013). Under physiological conditions, these species are neutralized by antioxidant enzymes including superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and glutathione peroxidase (GPx). However, environmental toxins (e.g., pesticides, MPTP) and aging can impair these defense systems, thereby increasing the cellular oxidative burden (Aslan & Karahalil, 2019).

Mitochondrial Dysfunction and Dopaminergic Neuronal Damage

In addition to their role in energy production, mitochondria represent a major source of ROS. Reduced activity of mitochondrial complex I leads to ROS accumulation and apoptosis in patients with Parkinson's disease (Luo et al., 2015). Neurotoxins such as rotenone and MPTP have been shown to induce Parkinson-like neurodegeneration through inhibition of complex I

(Büeler, 2009). Moreover, mutations in the PINK1 and Parkin genes disrupt mitophagy, resulting in increased oxidative stress (Stockum et al., 2016).

Lipid Peroxidation and DNA Damage

The brain is particularly susceptible to lipid peroxidation because of its high content of polyunsaturated fatty acids. Products generated during this process, such as malondialdehyde (MDA) and 4-hydroxynonenal (HNE), not only disrupt membrane integrity but also exert mutagenic effects on proteins and DNA (Reed, 2011).

At the DNA level, 8-oxo-7,8-dihydroguanine (8-oxoG) is one of the most common oxidative lesions and is normally repaired via the base excision repair (BER) pathway. However, aging is associated with reduced OGG1 activity, leading to the accumulation of 8-oxoG and an increased risk of mutations (Sheng et al., 2012).

Interaction Between Neuroinflammation and Oxidative Stress

Oxidative stress amplifies inflammatory processes through the activation of microglia and astrocytes. Activated microglia release pro-inflammatory mediators such as tumor necrosis factor-α (TNF-α), interleukin-1β (IL-1β), and nitric oxide (NO), which increase superoxide production via NADPH oxidase (Fischer & Maier, 2015). Excessive TNF-α release activates the NF-κB signaling pathway, thereby accelerating both inflammation and neuronal death (McCoy & Tansey, 2008). This vicious cycle explains the reciprocal interaction between chronic inflammation and oxidative stress observed in Parkinson’s disease.

Antioxidant Defense and Therapeutic Approaches

In addition to endogenous defense mechanisms, natural antioxidants such as vitamin E, vitamin C, resveratrol, melatonin, and coenzyme Q10 may reduce oxidative damage (Uttara et al., 2009). Furthermore, mitochondria-targeted antioxidants, including MitoQ and SS-31, represent promising pharmacological candidates capable of protecting dopaminergic neurons (Luo et al., 2015).

Antioxidant-based therapies and mitochondria-focused strategies therefore hold considerable promise for the prevention or slowing of Parkinson’s disease progression in the future (Aslan & Karahalil, 2019; Luo et al., 2015).

CONCLUSION

In the pathogenesis of Parkinson’s disease, a multidimensional interaction exists among oxidative stress, mitochondrial dysfunction, dopamine metabolism, and inflammation. The accumulation of ROS disrupts genomic integrity and triggers neuronal death. Consequently, early control of oxidative stress is of critical importance for slowing the progression of neurodegenerative processes.

REFERENCES

Aslan, S. N., & Karahalil, B. (2019). Oxidative stress and Parkinson disease. Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University, 43(1), 94–116.

Bolisetty, S., & Jaimes, E. A. (2013). Mitochondria and reactive oxygen species: Physiology and pathophysiology. International Journal of Molecular Sciences, 14(3), 6306–6344.

Büeler, H. (2009). Impaired mitochondrial dynamics and function in the pathogenesis of Parkinson disease. Experimental Neurology, 218(2), 235–246.

Fischer, R., & Maier, O. (2015). Interrelation of oxidative stress and inflammation in neurodegenerative disease: Role of TNF. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2015, 610813.

Hybertson, B. M., Gao, B., & Bose, S. (2011). Oxidative stress in health and disease. Molecular Aspects of Medicine, 32(4–6), 234–246.

Kim, G., Kim, J. E., Rhie, S., & Yoon, S. (2015). The role of oxidative stress in neurodegenerative diseases. Experimental Neurobiology, 24(4), 325–340.

Luo, Y., Hoffer, A., & Hoffer, B. (2015). Mitochondria: A therapeutic target for Parkinson's disease? International Journal of Molecular Sciences, 16(9), 20704–20730.

McCoy, M. K., & Tansey, M. G. (2008). TNF signaling inhibition in the CNS: Implications for normal brain function and neurodegenerative disease. Journal of Neuroinflammation, 5, 45.

Radak, Z., Zhao, Z., Goto, S., & Koltai, E. (2011). Age-associated neurodegeneration and oxidative damage to lipids, proteins and DNA. Molecular Aspects of Medicine, 32(4–6), 305–315.

Reed, T. (2011). Lipid peroxidation and neurodegenerative disease. Free Radical Biology & Medicine, 51(7), 1302–1319.

Sheng, Z., Oka, S., Tsuchimoto, D., Abolhassani, N., Nomaru, H., Sakumi, K., Yamada, H., & Nakabeppu, Y. (2012). 8-oxoguanine causes neurodegeneration during MUTYH-mediated DNA base excision repair. The Journal of Clinical Investigation, 122(12), 4344–4361.

Stockum, S., Nardin, A., & Schrepfer, E. (2016). Mitochondrial dynamics and mitophagy in Parkinson's disease: A fly point of view. Neurological Disease, 90, 58–67.

Uttara, B., Singh, A. V., Zamboni, P., & Mahajan, R. T. (2009). Oxidative stress and neurodegenerative diseases: A review of upstream and downstream antioxidant therapeutic options. Current Neuropharmacology, 7(1), 65–74.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TERMAL SAĞLIK TURİZMİ DESTİNASYON İMAJI: SAĞLIK BAKANLIĞI KAPLICA İŞLETME RUHSATLI TERMAL TESİSLER ÜZERİNDE BİR UYGULAMA

Doç. Dr. Fuat YALMAN

Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1041-1837

fuatyalman@duzce.edu.tr, 0506 4603437

Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ

Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü

ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5642-6498

yalcinkaragoz@duzce.edu.tr, 0553 0332996

ÖZET

Bu araştırmanın temel amacı, termal sağlık turizminde destinasyon imajı, hizmete ulaşılabilirlik ve destinasyonu yeniden ziyaret etme niyeti arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri tespit etmektir. Araştırmanın evrenini Yalova ilinde faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığı kaplıca işletme ruhsatlı termal tesislerden termal sağlık turizmi hizmeti almış olan ve yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan termal turistler oluşturmuştur. Örneklem grubunu ise yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan 300 termal turist oluşturmuştur. Araştırmada nicel araştırma yöntemi ve deseni kullanılmıştır. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkileri tespit etmek amacıyla yol analizi yapılmıştır. Yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak yapılan yol analizi sonuçlarına göre termal turizm destinasyon imajı ile ulaşılabilirlik arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde; termal turizm destinasyon imajı ile destinasyonu yeniden ziyaret niyeti arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ulaşılabilirlik ile destinasyonu yeniden ziyaret niyeti arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termal Turizm, Destinasyon İmajı, Kaplıcalar

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THERMAL HEALTH TOURISM DESTINATION IMAGE: AN APPLICATION ON HEALTH MINISTRY-LICENSED SPA FACILITIES

ABSTRACT

The primary objective of this study is to identify the direct and indirect relationships between destination image, service accessibility, and the intention to revisit the destination in thermal health tourism. The population of the study consisted of thermal tourists who had received thermal health tourism services from thermal facilities licensed by the Ministry of Health in Yalova province and who were reached through face-to-face surveys. The sample group consisted of 300 thermal tourists reached through face-to-face surveys. A quantitative research method and design were used in the study. IBM SPSS 23 and AMOS statistical analysis programs were used to analyze the data set within the scope of the research. Path analysis was conducted to determine the relationships between variables. With regard to the results of the path analysis performed using structural equation modeling, a unidirectional relationship was found between the thermal tourism destination image and accessibility. Similarly, a positive relationship was found between the image of thermal tourism destinations and the intention to revisit the destination. In addition, a positive relationship was found between accessibility and the intention to revisit the destination.

Keywords: Thermal Tourism, Destination Image, Hot Springs

GİRİŞ

Destinasyon imajı, “bir turistin bir destinasyonla ilgili sahip olduğu inanç, fikir ve izlenimlerin toplamı” şeklindeki tutumsal bir kavram olarak tanımlanmaktadır (Crompton, 1979). Destinasyon imajının, turistlerin belirli bir destinasyona yönelik duygu ve inançlarının öznel bir yorumuyla ilişkili olduğu iddia edilmiştir (Baloglu ve McCleary, 1999; Bigne vd., 2001). Geçmişte yapılan çalışmalar, destinasyon imajının, turistlerin bir destinasyon için algılarına, fikirlerine, inançlarına, izlenimlerine, kimliklerine veya duygularına dayalı olarak zihinsel bir blok geliştirdikleri karmaşık bir süreçten oluştuğunu bildirmiştir. Destinasyon imajı, turizm araştırmaları için iki ana nedenden dolayı önemli bir kavramdır. Birincisi, destinasyon imajı hiç şüphesiz turistlerin seyahat kararı vermesinde en önemli faktörlerden biridir (Byon ve Zhang,

2010; Chen ve Tsai, 2007). İkincisi ise, destinasyon imajının, destinasyon deneyimlerine göre turistlerin memnuniyet düzeyi üzerinde bir etkisi olduğu gerçeğidir (Chon, 1990; Lopes, 2011).

Turizm destinasyonu imajı teorisine göre, ziyaretçiler turizm faaliyetleri sürecinde destinasyonun genel bir değerlendirmesine sahip olurlar. Bilişsel psikolojinin etkisi altında, ziyaretçilerin destinasyona ilişkin algıladıkları değer, beklentilerini aştığında, destinasyonu tekrar ziyaret etme ve tavsiyelerde bulunma konusunda daha güçlü bir istekliliğe sahip olacaklardır. Destinasyona psikolojik bağlanma ve güven genellikle turistlerin destinasyona olan yüksek sadakatini göstermektedir (Baker ve Crompton, 2000; Derks vd., 2020). Turistler için imaj çok önemlidir. Turistlerin destinasyon imajını etkileyen faktörlerin derinlemesine ve eksiksiz analiz edilmesi, turistlerin gelecekte gösterebilecekleri bir dizi davranışların öngörülmesini sağlar. Turistlerin kendileri söz konusu olduğunda, destinasyon imajı sadece turistlerin yer hakkındaki görüşlerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda karar verme sürecini, algılanan değerlerini ve destinasyonu tekrar ziyaret niyetlerini de etkiler (Lin vd., 2016, Kim vd., 2013). Kaesung vd. (2013), Kore spor etkinliklerine katılan turistler üzerinde yaptıkları araştırmada destinasyon imajının turistlerin değer algıları üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Liu vd. (2015), Makao'yu ziyaret eden anakara turistlerini araştırmışlar ve destinasyon imajı ile turistlerin destinasyonu tekrar ziyaret niyetleri arasında önemli bir pozitif ilişki olduğunu doğrulamışlardır.

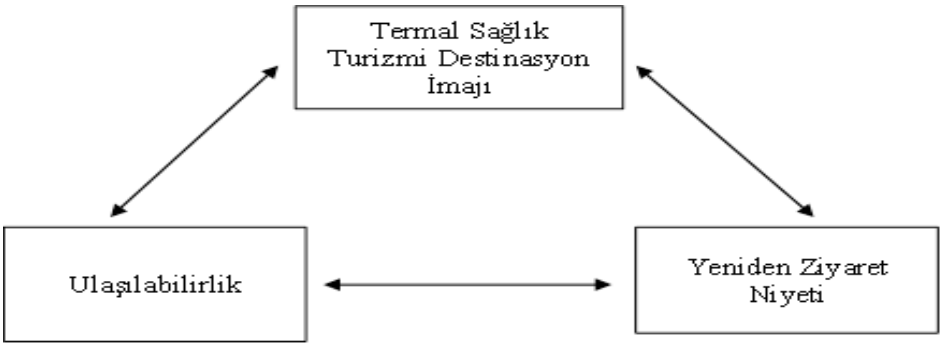
Bir destinasyon imajının çekicilik unsurları ve sunulma şekli, hedefin ve markasının tanıtımında kritik bir unsurdur (Khan vd., 2016). İmaj, turistler arasında bir destinasyon hakkında farkındalık oluşturabilir ve bunun, turistlerin bir destinasyon seçimi için karar vermeleri üzerinde doğrudan etkisi vardır (Cheng ve Lu, 2013; Deeparechigi vd., 2018). Turistlerin destinasyon imajı, destinasyonda yaşadıklarını, gördüklerini ve hissettiklerini yansıtır (Echnter ve Ritchie, 1993). Literatürde sağlık turizmi destinasyon imajını oluşturan ortak unsurların çeşitli özelliklerden oluştuğu bildirilmiştir. Bu özellikler arasında turistik yerler, genel altyapılar, hastanelerin itibarı, hastanelerin hizmet kalitesi, tıbbi olanaklar, sosyal çevre, ulaşım hizmetleri, konaklama, destekleyici hizmetler, yemek, kişisel güvenlik ve iletişim yer almaktadır (Khan vd., 2016; Lam vd., 2011; Viladrich ve Baron-Faust, 2014). Bu araştırmanın temel amacı, termal sağlık turizminde destinasyon imajı, hizmete ulaşılabilirlik ve destinasyonu yeniden ziyaret etme niyeti arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkileri tespit etmektir. Araştırmanın evrenini Yalova ilinde faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığı kaplıca işletme ruhsatlı termal tesislerden termal sağlık turizmi hizmeti almış olan ve yüz yüze anket

yöntemiyle ulaşılan termal turistler oluşturmuştur. Örneklem grubunu ise yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan 300 termal turist oluşturmuştur.

YÖNTEM

Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Araştırmada nicel araştırma yöntemi ve deseni kullanılmıştır. Araştırmada tesadüfi olmayan örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme yöntemi kullanılmış ve veriler yüz yüze anket tekniği ile toplanmıştır. Araştırmanın evrenini Yalova ilinde faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığı kaplıca işletme ruhsatlı termal tesislerden termal sağlık turizmi hizmeti almış olan ve yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan turistler oluşturmuştur. Örneklem grubunu ise yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan 300 turist oluşturmuştur. Araştırmada olasılıksız örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme tekniği kullanılmıştır. Veriler yüz yüze anket tekniği ile toplanmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS Statistic Base 23V ve AMOS paket programları kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkileri tespit etmek amacıyla yol analizi yapılmıştır. Araştırmanın kavramsal modeli arasındaki yapısal ilişkiler Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Araştırmanın Kavramsal Modeli

H_1: Termal Sağlık Turizmi Destinasyon İmajı ile ulaşılabilirlik arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_2: Termal Sağlık Turizmi Destinasyon İmajı ile yeniden ziyaret niyeti arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır.

H_3: Ulaşılabilirlik ile yeniden ziyaret niyeti arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki vardır

Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini Yalova ilinde faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığı kaplıca işletme ruhsatlı termal tesislerden termal sağlık turizmi hizmeti almış olan ve yüz yüze anket yöntemiyle

ulaşılan turistler oluşturmuştur. Örneklem grubunu ise yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan 300 turist oluşturmuştur. Araştırmada olasılıksız örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme tekniği kullanılmıştır.

Veri Toplama Yöntemi

Veriler yüz yüze anket tekniği ile toplanmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS Statistic Base 23V ve AMOS paket programları kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişkileri tespit etmek amacıyla yol analizi yapılmıştır.

İstatistiksel Analizler

Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 27 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Çalışmanın analizinde yapısal eşitlik modellemesi (YEM) yöntemlerinden olan yol (path) analizi kullanılmıştır.

BULGULAR

Araştırma Verilerinin Güvenilirliği

Araştırma verilerinin güvenilirliğinin sağlanması için, madde-toplam korelasyonuna dayalı madde analizi uygulanmıştır.

Tablo 1. Güvenilirlikler ve Ortalamalar

Faktörler	N	Mean	Standard Deviation	Variance	Cronbach's Alpha
Termal Turizm Destinasyon İmajı	300	4,0170	,65924	,435	,821
Ulaşılabilirlik	300	4,1100	,70096	,491	,638
Yeniden Ziyaret Niyeti	300	3,7958	,57010	,325	,714

Demografik Bulgular ve Farklılık Analizleri

Araştırmaya katılan bireylerin demografik özellikleri ile faktörler arasındaki farklılık analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 2. Cinsiyet

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Erkek	158	52,7	52,7	52,7
	Kadın	142	47,3	47,3	100,0
	Total	300	100,0	100,0	

Tablo 3. Yaş

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	18-25	141	47,0	47,0	47,0
	26-35	99	33,0	33,0	80,0
	36-45	35	11,7	11,7	91,7
	46-55	14	4,7	4,7	96,3
	56 ve uzeri	11	3,7	3,7	100,0
	Total	300	100,0	100,0	

Tablo 4. Kronik Rahatsızlık Durumu

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Evet	54	18,0	18,0	18,0
	Hayır	246	82,0	81,7	99,7
	Total	300	100,0	100,0	

Tablo 5. Düzenli İlaç Kullanımı

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Evet	55	18,3	18,3	18,3
	Hayır	245	81,7	81,0	99,3
	Total	300	100,0	100,0	

Betimsel Analizler

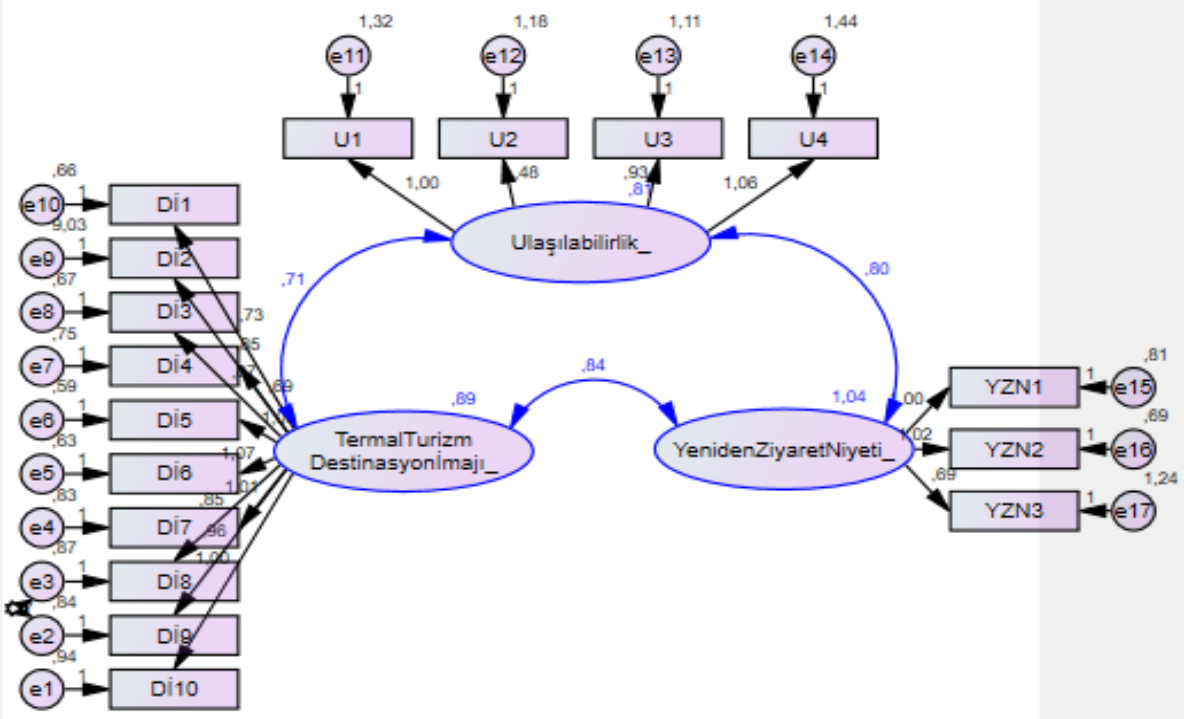
Tablo 6. Betimsel Analiz Sonuçları

Faktörler	N	Mean	Standard Deviation	Variance	Cronbach's Alpha
Termal Turizm Destinasyon İmajı	300	4,0170	,65924	,435	,821
Ulaşılabilirlik	300	4,1100	,70096	,491	,638
Yeniden Ziyaret Niyeti	300	3,7958	,57010	,325	,714

Yol (Path) Analizi İle İlgili Bulgular

Gizli değişkenlerle yapılan yol analizi, gözlenen değişkenlerle yapılan yol analizinden, daha güvenilir sonuçlar üreten bir analizdir. Model uyumunun diyagramı aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Bu bölümde, AMOS paket programı ile termal sağlık turizmi destinasyon imajı,

ulaşılabilirlik ve yeniden ziyaret etme niyeti arasındaki yapısal ilişkilere yol (path) analizi yapılarak verinin öngörülen modele uyum derecesi test edilmiştir. Şekil 1'de Yol Diagramı ve uyum iyiliği sonuçları verilmiştir.



Şekil 2. Yol Analizi Modeli

Tablo 3. İyileştirilmiş Ölçüm Modeline İlişkin DFA Sonuçları

Constructs	Items	Estimate	Cronbach's α	AVE	CR
Termal Turizm Destinasyon İmajı	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,696	,821	,62	,85
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,701			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,653			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,721			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,784			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,773			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,603			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,706			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,257			
	TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	,644			
Ulaşılabilirlik	Ulaşılabilirlik_	,618	,638	,53	,80
	Ulaşılabilirlik_	,371			
	Ulaşılabilirlik_	,623			

	Ulaşılabilirlik_	,622			
Yeniden Ziyaret Niyeti	YenidenZiyaretNiyeti_	,751	,714	,50	,74
	YenidenZiyaretNiyeti_	,782			
	YenidenZiyaretNiyeti_	,533			

AVE değeri 0,50'den küçük olmakla birlikte, CR'nin 0,60 ve daha büyük olması uyum geçerliliğinin olduğunu göstermektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Yukarıdaki tabloda hesaplanan AVE değerleri 0,42 ve daha büyük ve CR değerleri de 0,81 ve daha büyük olduğundan model uyum geçerliğini sağlamaktadır. Aşağıda Tablo 4'de yapısal model analizi sonuçları ve yol katsayıları verilmiştir.

Tablo 4. Yapısal Model Analizi Sonuçları

			İlişki Katsayısı
TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	<-->	Ulaşılabilirlik_	,839
TermalTurizm_DestinasyonİmajI_	<-->	YenidenZiyaretNiyeti_	,877
Ulaşılabilirlik_	<-->	YenidenZiyaretNiyeti_	,864

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, termal sağlık turizmi destinasyon imajı, ulaşılabilirlik ve yeniden ziyaret etme niyeti arasındaki yapısal ilişkileri tespit etmektir. Araştırmada nicel araştırma yöntemi ve deseni kullanılmıştır. Araştırmada tesadüfi olmayan örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme yöntemi kullanılmış ve veriler yüz yüze anket tekniği ile toplanmıştır.

Araştırmanın evrenini Yalova ilinde faaliyet gösteren Sağlık Bakanlığı kaplıca işletme ruhsatlı termal tesislerden termal sağlık turizmi hizmeti almış olan ve yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan turistler oluşturmuştur.

Örneklem grubunu ise yüz yüze anket yöntemiyle ulaşılan 300 turist oluşturmuştur. Araştırmada olasılıksız örnekleme tekniklerinden kolayda örnekleme tekniği kullanılmıştır.

Yapısal eşitlik modellemesi kullanılarak yapılan yol analizi sonuçlarına göre termal turizm destinasyon imajı ile ulaşılabilirlik arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde; termal turizm destinasyon imajı ile destinasyonu yeniden ziyaret niyeti arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra ulaşılabilirlik ile destinasyonu yeniden ziyaret niyeti arasında aynı yönlü bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı olumlu termal turizm destinasyon imajı arttıkça, turistlerin de destinasyonu yeniden ziyaret niyetlerinin ve destinasyona ulaşılabilirlik algılarının aynı yönde artacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKÇA

Baker, D.A. & Crompton, J.L. (2000). Quality, satisfaction and behavioral intentions. Ann. Tour. Res. 2000, 27, 785–804.

Baloglu, S., & McCleary, K. W. (1999). A model of destination image formation. Annals of Tourism Research, 26(4), 868–897.

Bigne, J. E., Sanchez, M. I., & Sanchez, J. (2001). Tourism image, evaluation variables and after purchase behaviour: Inter-relationship. Tourism Management, 22(6), 607–616.

Byon, K. K., & Zhang, J. J. (2010). Development of a scale measuring destination image. Marketing Intelligence & Planning, 28(4), 508–532.

Chen, C. F., & Tsai, D. (2007). How destination image and evaluative factors affect behavioral intentions? Tourism Management, 28(4), 1115–1122.

Cheng, T. M., & Lu, C. C. (2013). Destination image, novelty, hedonics, perceived value, and revisiting behavioral intention for island tourism. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 18(7), 766-783.

Chon, K. S. (1990). The role of destination image in tourism: A review and discussion. The Tourist Review, 45(2), 2–9.

Crompton, J. L. (1979). An assessment of the image of Mexico as a vacation destination and the influence of geographical location upon that image. Journal of Travel Research, 17(4), 18–23.

Deeparechigi, V., Ridzuan, M., & Cham, T. H. (2018). The role of destination image in Malaysia's medical tourism industry. Advanced Science Letters, 24(5), 3479–3482.

Derks, J., Giessen, L., & Winkel, G. (2020). COVID-19-induced visitor boom reveals the importance of forests as critical infrastructure. For. Pol. Econ. 2020, 118, 102253.

Echtner, C. M., & Ritchie, J. B. (1993). The measurement of destination image: An empirical assessment. Journal of travel research, 31(4), 3-13.

Kaesung, M., Ko, Y. J., & Connaughton, D. P. et al. (2013). A mediating role of destination image in the relationship between event quality, perceived value, and behavioral intention. Journal of Sport Tourism, 18(1), 49-66.

Khan, M. J., Chelliah, S., & Haron, M. S. (2016). Medical tourism destination image formation process: A conceptual model. International Journal of Healthcare Management, 9(2), 134–143.

Khan, M. J., Chelliah, S., & Haron, M. S. (2016). Medical tourism destination image formation process: A conceptual model. International Journal of Healthcare Management, 9(2), 134–143.

Kim, S. H., Holland, S., & Han, H. S. (2013). A structural model for examining how destination image, perceived value, and service quality affect destination loyalty: A case study of Orlando. International Journal of Tourism Research, 15(4), 313-328.

Lam, C. C., Du Cros, H., & Vong, T. N. (2011). Macao's potential for developing regional Chinese medical tourism. Tourism Review, 66(1/2), 68–82.

Lin, C. H., & Chin, C. T. (2016). A study of the travel information resources, destination image, and behavioral intention of college students on Kenting. Asian Journal of Business and Management, 4(6), 239-247.

Liu, X., Li, J., & Kim, W. G. (2015). The role of travel experience in the structural relationships among tourists' perceived image, satisfaction, and behavioral intentions. Tourism & Hospitality Research, 11(8), 225-232.

Lopes, S. D. F. (2011). Destination image: Origins, developments and implications. Revista de turismo y patrimonio cultural, 9(2), 305–315.

Viladrich, A., & Baron-Faust, R. (2014). Medical tourism in tango paradise: The internet branding of cosmetic surgery in Argentina. Annals of Tourism Research, 45, 116–131.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SAĞLIK SEYAHATİNDE ALGILANAN DEĞERİN YENİDEN ZİYARET ETME NİYETİ ÜZERİNE ETKİSİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Prof. Dr., Yalçın KARAGÖZ
Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5642-6498
yalcinkaragoz@duzce.edu.tr, 0553 0332996

Doç. Dr. Fuat YALMAN
Düzce Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1041-1837
fuatyalman@duzce.edu.tr, 0506 4603437

ÖZET

Bu araştırmanın temel amacı, sağlık seyahatinde algılanan değerin yeniden ziyaret etme niyeti üzerine etkisini yapısal eşitlik modellemesi tekniği olan yol analizi aracılığıyla ortaya koymaktır. Araştırmanın evrenini İstanbul ilinde bulunan uluslararası sağlık turizmi yetki belgeli sağlık kuruluşlarından sağlık turizmi hizmeti almış olan ve sosyal medya kanalıyla (Twitter, Instagram, Facebook, Web Siteler, Bloglar) ulaşılan diaspora Türkleri oluşturmaktadır. Örneklem grubunu ise 478 uluslararası sağlık turisti oluşturmuştur. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Sağlık seyahatinde algılanan değerin yeniden ziyaret etme niyeti üzerine etkisini ortaya koymak amacıyla yapılan yol analizi ile etkinin yönü ve düzeyleri tespit edilmiştir. Yol analizi ile elde edilen uyum değerleri verilerin modele uyum sağladığını göstermiştir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar göre; sağlık seyahatinde algılanan değerin yeniden ziyaret etme niyetini istatistik olarak anlamlı düzeyde pozitif yönde etkilediği görülmüştür. Dolayısıyla sağlık seyahatinde algılanan değer artarsa, yeniden ziyaret etme niyeti de artacak veya sağlık seyahatinde algılanan değer azalırsa, yeniden ziyaret etme niyeti de azalacaktır.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti, Sağlık Turisti

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE EFFECT OF PERCEIVED VALUE IN HEALTH TRAVEL ON THE INTENTION TO REVISIT: THE CASE OF TURKEY

ABSTRACT

The main objective of this study is to reveal the effect of perceived value in health travel on the intention to revisit through path analysis, a technique of structural equation modeling. The research population consists of diaspora Turks who have received health tourism services from healthcare institutions in Istanbul holding an international health tourism authorization certificate and were reached through social media channels (Twitter, Instagram, Facebook, websites, blogs). The sample group consisted of 478 international health tourists. IBM SPSS 23 and AMOS statistical analysis programs were used to analyze the dataset within the scope of the study. Path analysis was conducted to determine the direction and levels of the effect of perceived value in health travel on the intention to revisit. The fit indices obtained from the path analysis showed that the data fit the model. The model-data fit indicated the construct validity of the model. According to the results, perceived value in health travel was found to have a statistically significant positive effect on the intention to revisit. Therefore, if the perceived value in health travel increases, the intention to revisit will also increase; conversely, if the perceived value decreases, the intention to revisit will decrease as well.

Keywords: Perceived Value in Health Travel, Intention to Revisit, Health Tourist

GİRİŞ

Medikal sağlık turizmi, sık sık uzun mesafeler kat eden veya sınır ötesi seyahat eden bir kişinin, eğlence, iş veya diğer amaçlarla doğrudan veya dolaylı olarak tıbbi hizmetlerden yararlanmak için yaptığı bir dizi faaliyet olarak tanımlanmaktadır (Jagyasi, 2008). Medikal turizm, turizm endüstrisinde ortaya çıkan bir niş pazardır ve küresel turizmde önemli bir rol oynamaktadır. Kuruluşundan bu yana medikal turizm, hem sağlık turistlerine hem de ev sahibi ülkeye faydalar sunması neticesinde gelişmekte olan ülkelerde en karlı alternatif turizm türlerinden biri haline gelmiştir (Cham vd., 2016; Pan ve Chen, 2014). Sağlık turistleri, tıbbi tedavilerin alınmasında potansiyel tasarruflardan ve daha kısa bekleme süresinden yararlanmaktadır. Öte yandan, ev sahibi ülke sağlık ve turizm hizmetlerinden elde edilen gelirden yararlanmaktadır. Elde edilen gelirler, ev sahibi ülkenin sağlık hizmetlerinin ve sağlık tesislerinin kalitesinin iyileştirilmesi için hayati öneme sahiptir. Bu kazan-kazan durumu, gelecek vaat eden bu sektörde yer almak için giderek daha fazla ülkeyi kendine çekmeyi başarmıştır (Patients Beyond Borders, 2019).

Algılanan değer, tüketicilerin ürün veya hizmetleri satın alırken aldıkları girdi ve çıktıları karşılaştırarak hissettikleri duygudur (Zeithaml, 1988). Değer, müşteri/tüketici tarafından ödenen maliyetlerle ilgili hizmet kalitesiyle, başka bir deyişle, hizmete ilişkin müşteri/tüketici beklentileri ile alınan gerçek hizmet arasındaki farkla ilgilidir (Kotler ve Keller, 2006). Turizm literatüründe algılanan değer, genellikle hizmet kalitesi, fiyat, duygular ve sosyal faktörler gibi seyahat ürünlerinin/hizmetlerinin özelliklerinin kişisel değerlendirmesi olarak kavramsallaştırılmıştır (Petrick, 2004). Bu faktörler, ürünün/hizmetin değerinin tercih edilmeye değer olup olmadığını belirlemekte ve tekrar tercih niyetini etkilemektedir (Chen ve Tsai, 2007).

Tekrar ziyaret etme niyeti, bireyin belirli bir zaman dilimi içerisinde, daha önce ziyaret etmiş olduğu bir destinasyonu ikinci kez ziyaret etme isteği olarak tanımlanmaktadır (Cole ve Scott, 2004). Mevcut turistlerin aynı destinasyona sürekli olarak çekilmesi durumunun, yeni turist aramaya göre ekonomik yönden daha fazla fayda sağlanabileceği ileri sürülmüştür (Cham vd., 2015; Stylos vd., 2016). Literatürde bir destinasyonun algılanan imajının turistlerin aynı destinasyonu tekrar ziyaret etme niyeti üzerindeki etkisi ortaya konulmuştur (Chew ve Jahari, 2014; Hallmann vd., 2015; Liv d., 2018). Chew ve Jahari (2014) tarafından 255 Malezyalı turist üzerinde yapılan araştırmada, Japonya imajının ülkeyi tekrar ziyaret etme niyetleriyle olumlu bir şekilde ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, Hallmann vd. (2015)'nin 795 turist

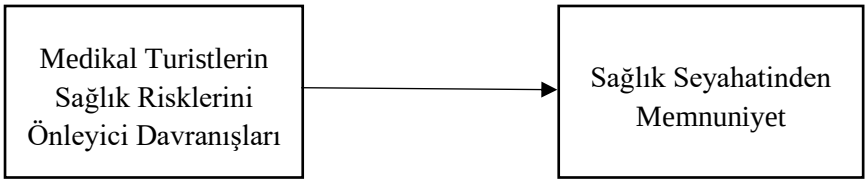
üzerinde yaptığı araştırmada, sırasıyla Almanya ve Avusturya kış sporları destinasyonunun imajının, destinasyonu tekrar ziyaret etme niyetleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Bu araştırmanın temel amacı, sağlık seyahatinde algılanan değerin yeniden ziyaret etme niyeti üzerine etkisini yapısal eşitlik modellemesi tekniği olan yol analizi aracılığıyla ortaya koymaktır. Araştırmanın evrenini İstanbul ilinde bulunan uluslararası sağlık turizmi yetki belgeli sağlık kuruluşlarından sağlık turizmi hizmeti almış olan ve sosyal medya kanalıyla (Twitter, Instagram, Facebook, Web Siteler, Bloglar) ulaşılan diaspora Türkleri oluşturmaktadır. Örneklem grubunu ise 478 uluslararası sağlık turisti oluşturmuştur.

Yöntem

Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış ve veriler İstanbul ilinde bulunan uluslararası sağlık turizmi yetki belgeli sağlık kuruluşlarından medikal turizm hizmeti almış olan ve sosyal medya kanalıyla (Twitter, Instagram, Facebook, Web Siteler, Bloglar) ulaşılan diaspora Türkleri üzerinden online toplanmıştır.

Araştırmanın Modeli ve Hipotezleri

Medikal turistlerin sağlık risklerini önleyici davranışlarının onların sağlık seyahatinden memnuniyet düzeylerine etkisinin ortaya konulması araştırmanın konusunu oluşturmaktadır. Araştırmanın modeli, araştırmanın temel değişkenleri arasındaki nedensellik ilişkisini tartışmaktadır. Araştırmanın kavramsal modeli arasındaki yapısal ilişkiler Şekil 1'de gösterilmektedir. Ardından araştırmanın temel hipotezleri aşağıda ifade edilmiştir.



Şekil 1. Araştırmanın Modeli

"H_1: Medikal turistlerin sağlık risklerini önleyici davranışları onların sağlık seyahatinden memnuniyet düzeylerini istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde etkilemektedir."

Evren ve Örnekleme

Araştırmanın evrenini İstanbul ilinde bulunan uluslararası sağlık turizmi yetki belgeli sağlık kuruluşlarından sağlık turizmi hizmeti almış olan ve sosyal medya kanalıyla (Twitter, Instagram, Facebook, Web Siteler, Bloglar) ulaşılan diaspora Türkleri oluşturmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Örneklem grubunu ise 478 uluslararası sağlık turisti oluşturmuştur. Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır.

Veri Toplama Yöntemi

Veri toplama yöntemi olarak online anket tekniği kullanılmıştır. Anket formu, toplamda üç bölümden oluşmaktadır. Katılımcılara online anket formu Türkçe dilinde uygulanmıştır.

İstatistiksel Analizler

Araştırma kapsamında veri setinin analizi için IBM SPSS 23 ve AMOS istatistiksel analiz programları kullanılmıştır. Değişkenler arasındaki ilişki düzeyini ve ilişkinin yönünü ortaya koymak için yapısal eşitlik modellemesi (YEM) yöntemlerinden olan yol analizi uygulanmıştır.

BULGULAR

Demografik Bulgular

Araştırmaya katılan medikal turistlerin demografik özellikleri ile faktörler arasındaki farklılık analizlerinin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri ile Farklılık Analizleri

			Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer		Yeniden Ziyaret Etme Niyeti	
	N	%	t^a/F^b	p^c	t^a/F^b	p^c
Cinsiyet						
Erkek	189	39,5	9,137	0,000	9,750	0,000
Kadın	289	60,5				
Yaş						
18-35	471	98,5	-2,676	0,035	-3,380	0,013
36–45	7	1,5				
Kronik İlaç						
Evet	94	19,7	9,309	0,000	12,998	0,000
Hayır	384	80,3				
Düzenli/Sürekli Kullanılan İlaç			0,183	0,855	0,472	0,637

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Evet	2	,4				
Hayır	476	99,6				
Tercih Sebebi			74,123	0,000	64,571	0,000
Fiyat Uygunluğu	290	60,7				
Personelin Yaklaşımı	3	,6				
Ulaşım Kolaylığı	185	38,7				
[a] Independent t test, [b] ANOVA test, [c] p-value (2tailed)						

Cinsiyet;

Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer boyutu için cinsiyetin alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,042<0,05 olduğundan Yeniden Ziyaret Etme Niyeti boyutu için cinsiyetin alt gruplarına göre farklılık vardır.

Yaş;

Sig. değeri p=0,035<0,05 olduğundan Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer boyutu için yaşın alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,013<0,05 olduğundan Yeniden Ziyaret Etme Niyeti boyutu için yaşın alt gruplarına göre farklılık vardır.

Kronik Hastalık;

Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer boyutu için kronik hastalığın alt gruplarına göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Yeniden Ziyaret Etme Niyeti boyutu için kronik hastalığın alt gruplarına göre farklılık vardır.

Düzenli İlaç;

Sig. değeri p=0,855>0,05 olduğundan Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer boyutu için düzenli ilacın alt gruplarına göre farklılık yoktur. Sig. değeri p=0,637>0,05 olduğundan Yeniden Ziyaret Etme Niyeti boyutu için düzenli ilacın alt gruplarına göre farklılık yoktur.

Tercih Sebebi;

Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer boyutu için tercih sebebinin alt gruplarında göre farklılık vardır. Sig. değeri p=0,000<0,05 olduğundan Yeniden Ziyaret Etme Niyeti boyutu için tercih sebebinin alt gruplarına göre farklılık vardır.

Araştırma Verilerinin Güvenilirliği

Güvenilirlik analizi için hedef kitleden elde edilen verilere, "Madde-toplam korelasyonuna dayalı madde analizi" yapılmıştır. Genel Güvenilirlik=0,992, Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer=0,989, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti=0,970 olduğundan, ölçek yüksek derecede güvenilir kabul edilmiştir.

Betimsel Analizler

Medikal turistlerin sağlık seyahatinden algıladıkları değer ile yeniden ziyaret niyetleri ile ilgili faktörlere yönelik betimsel analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

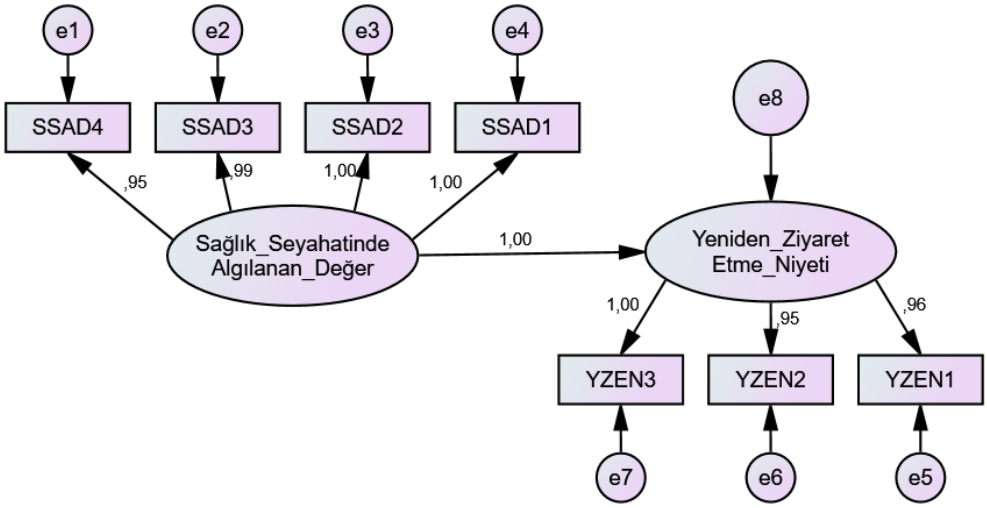
Tablo 2. Betimsel Analiz Sonuçları

Factors	N	Mean	Standard Deviation	Variance	Cronbach's Alpha
Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer	478	3,4582	1,29234	1,670	,990
Yeniden Ziyaret Etme Niyeti	478	3,5509	1,34779	1,817	,970

Ankete katılanlar ortalama olarak, bütün boyutlar için "katılıyorum" demişlerdir. Ayrıca ölçek boyutları yüksek derecede güvenilirdir.

Doğrulayıcı Faktör Analizi İle İlgili Bulgular

Medikal turistlerin sağlık seyahatinden algıladıkları değer durumunun onların destinasyonu yeniden ziyaret niyetleri üzerindeki etkisini ortaya koymak için yol analizi yapılmıştır.



Şekil 2. Doğrulayıcı Faktör Analizi Modeli

Aşağıda verilen uyum değerleri model uyumunun (model fit) iyi sağlandığını göstermektedir. Elde edilen 0≤χ2/df=3,94≤5; 0,000≤RMR=,046≤0,100; 800≤GFI=0,931≤1,00; 0,800≤IFI=0,908≤1,00 ve 0,000≤SRMR=,0207≤0,100 uyum değerleri, verilerin modele uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. İyileştirilmiş Ölçüm Modeline İlişkin DFA Sonuçları

Constructs	Items	Estimate	Cronbach's α	AVE	CR
Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer	SSAD4	,950	,989	,97	,96
	SSAD3	,991			
	SSAD2	,998			
	SSAD1	,997			
Yeniden Ziyaret Etme Niyeti	YZEN1	,956	,970	,94	,96
	YZEN2	,954			
	YZEN3	,996			

AVE değerinin 0,50'den büyük olması, CR'nin de 0,60'dan büyük olması uyum geçerliliğinin olduğunu göstermektedir (Fornell ve Larcker, 1981). Yukarıdaki tabloda hesaplanan AVE değerleri 0,94 ve daha büyük ve CR değerleri de 0,96 olduğundan model uyum geçerliğini sağlamaktadır. Güvenilirlik katsayıları Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer=,989, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti=,970 olduğundan, ölçek yüksek derecede güvenilirdir.

Tablo 5. Path Analizinin Sonuçları

Hypothesis	**Paths**	**Estimate**	**S.E.**	**C.R.**	**P**	**Result**
Direk Etki (Direct Effect)						
Sağlık Seyahatinde Algılanan Değerin Yeniden Ziyaret Etme Niyetine Etkisi						
H_1	YZEN <--- SSAD	,999	,019	48,254	P<,001	İleri Düzeyde Önemli

H_1: Sağlık Seyahatinde Algılanan Değerin, Yeniden Ziyaret Etme Niyetine Etkisi ileri düzeyde önemlidir (P<,001). Etki derecesi pozitif yönlüdür (,999). Yani Yönlendirme bir birim artığında Yetkinlik de 0,999 kat artacaktır.

SONUÇ

Sonuç olarak; path analizi ile Elde edilen 0,000≤RMR=,046≤0,100 ve 0,000≤SRMR=,0207≤0,100 uyum değerleri, verilerin modele uyum sağladığını göstermektedir. Verilerin modele uyum sağlaması modelin yapı geçerliliğinin olduğunu göstermektedir. Ayrıca yine path analizi ile elde edilen modelin boyutlarına ait AVE (Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer=0,97; Yeniden Ziyaret Etme Niyetine Etkisi=0,94) değerlerinin 0,94 ve daha büyük ve CR (Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer=,96 Yeniden Ziyaret Etme Niyetine Etkisi=,96) değerlerinin de 0,96 olmasından dolayı, faktörler uyum geçerliğine sahiptir ve model geçerlilik şartlarını sağlamaktadır. Güvenilirlik katsayıları (Genel

Güvenilirlik=0,992, Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer=0,989, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti=0,970) ölçeğin yüksek derecede güvenilir olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar göre; Sağlık Seyahatinde Algılanan Değerin, Yeniden Ziyaret Etme Niyetini ileri düzeyde ve pozitif yönde etkilediği görülmektedir. Yani, Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer artarsa, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti de artacak veya Sağlık Seyahatinde Algılanan Değer azalırsa, Yeniden Ziyaret Etme Niyeti de azalacaktır.

KAYNAKÇA

Cham, T. H., Lim, Y. M., & Aik, N. C. (2015). A study of brand image, perceived service quality, patient satisfaction and behavioral intention among the medical tourists. Global Journal of Business and Social Science Review, 2(1), 14–26.

Cham, T. H., Lim, Y. M., Aik, N. C., & Tay, A. G. M. (2016). Antecedents of hospital brand image and the relationships with medical tourists' behavioral intention. International Journal of Pharmaceutical and Healthcare Marketing, 10(4), 412–431.

Chew, E. Y. T., & Jahari, S. A. (2014). Destination image as a mediator between perceived risks and revisit intention: A case of post-disaster Japan. Tourism Management, 40, 382–393.

Cole, S. T., & Scott, D. (2004). Examining the mediating role of experience quality in a model of tourist experiences. Journal of Travel & Tourism Marketing, 16(1), 79–90.

Hallmann, K., Zehrer, A., & Müller, S. (2015). Perceived destination image: An image model for a winter sports destination and its effect on intention to revisit. Journal of Travel Research, 54(1), 94–106.

Jagyasi, P. (2008). Definingmedical tourism–another approach. Medical Tourism Magazine, 6, 9–11.

Kotler, P., and Keller, K. L. (2006). Marketing management 12e. New Jersey: Upper Saddle River.

Pan, T. J., & Chen, W. C. (2014). Chinese medical tourists – Their perceptions of Taiwan. Tourism Management, 44, 108–112.

Patients Beyond Borders. (2019). Leading medical travel destinations. Retrieved from https://patientsbeyondborders.com/destination. (Erişim Tarihi: 15.12.2025).

Petrick, J. F. (2004). The roles of quality, value, and satisfaction in predicting cruise passengers' behavioral intentions. Journal of travel research, 42(4), 397-407.

Stylos, N., Vassiliadis, C. A., Bellou, V., & Andronikidis, A. (2016). Destination images, holistic images and personal normative beliefs: Predictors of intention to revisit a destination. Tourism Management, 53, 40–60.

Zeithaml, V. A. (1988). Consumer perceptions of price, quality, and value: a means-end model and synthesis of evidence. The Journal of marketing, 2-22.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNDE FİNANSAL OKURYAZARLIK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN ANALİZİ

Okan KOÇ

Doç. Dr., Balıkesir Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0002-5356-5940 Email: okan.koc@balikesir.edu.tr Cep Tel:05535057090

Özgür YILMAZ

Öğr. Gör., Balıkesir Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0001- 8884- 2381 Email: oyilmaz@balikesir.edu.tr Cep Tel:05354888666

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin finansal okuryazarlık düzeylerini ve finansal tutum–davranışlarını incelemek, bu düzeylerin demografik değişkenlerle ilişkisini değerlendirmektir. Nicel araştırma yöntemlerinden tarama modeli kapsamında yürütülen çalışmanın evrenini Balıkesir Üniversitesi İvrindi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencileri oluşturmakta olup, basit rastgele örnekleme yöntemi ile seçilen 75 öğrenci araştırmanın örneklemini meydana getirmiştir. Veri toplama aracı olarak, öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeyleri ile bu düzeye ilişkin tutum ve davranışlarını ölçmek amacıyla Sarıgül (2015) tarafından geliştirilen Finansal Okuryazarlık Tutum ve Davranış Ölçeği kullanılmış; yaş, cinsiyet, bölüm ve aile gelir düzeyi gibi değişkenleri belirlemek üzere Demografik Bilgi Formu uygulanmıştır. Anket formu çevrim içi ortamda Google Forms aracılığıyla katılımcılara sunulmuştur.

Araştırmada kullanılan 14 maddelik ölçeğin değerlendirilmesinde 3.40 puanı kesme noktası olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin fiyat karşılaştırma ve satın alma kararlarında finansal durumlarını dikkate alma gibi belirli tüketim davranışlarında olumlu eğilim gösterdiklerini; ancak bütçe planlama, harcama kontrolü, finansal öngörü ve finansal öz-yeterlilik gibi temel finansal yönetim alanlarında düşük düzeyde performans sergilediklerini ortaya koymuştur. Ölçeğin genel ortalaması ($\bar{X}$ = 3.23) kesme noktasının altında kalarak öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerinin genel olarak düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar, finansal okuryazarlığın planlama ve yönetim boyutlarında güçlendirilmesine yönelik uygulamalı ve sistematik eğitim programlarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Finansal Okuryazarlık, Finansal Tutum ve Davranış, Meslek Yüksekokulu Öğrencileri

DETERMİNİNG THE FİNANCİAL LİTERACY LEVEL OF HEALTH VOCATİONAL SCHOOL STUDENTS AND ANALYZİNG THE INFLUENCİNG FACTORS

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the financial literacy levels and financial attitudes–behaviors of vocational school students and to evaluate the relationship of these levels with various demographic variables. The population of the study, conducted within the framework of the survey model, one of the quantitative research methods, consists of students of Balıkesir University İvrindi Vocational School of Health Services. The sample of the study was formed by 75 students selected through simple random sampling. As a data collection tool, the Financial Literacy Attitude and Behavior Scale developed by Sarıgül (2015) was used to measure students' financial literacy levels and their related attitudes and behaviors; in addition, a Demographic Information Form was employed to gather variables such as age, gender, department, and family income level. The questionnaire was administered online via Google Forms.

In evaluating the 14-item scale used in the study, a cut-off score of 3.40 was adopted. The findings revealed that students demonstrated positive tendencies in certain consumer-related behaviors—such as comparing prices and considering their financial situation before purchasing—while exhibiting low performance in fundamental areas of financial management, including budgeting, spending control, financial foresight, and financial self-efficacy. The overall mean score of the scale ($\bar{X}$ = 3.23), which falls below the cut-off point, indicates that students' financial literacy levels are generally low. These results highlight the need for systematic and practice-oriented educational programs to strengthen the planning and management dimensions of financial literacy among students.

Keywords: Financial Literacy, Financial Attitudes and Behaviors, Vocational School Students

GİRİŞ

Sağlık sektörünün giderek karmaşıklaştığı ve profesyonellerden klinik becerilerin yanı sıra yönetsel sorumluluklar da beklenmeye başlandığı düşünüldüğünde, finansal okuryazarlığın önemi daha belirgin hâle gelmektedir. Literatür, sağlık alanındaki profesyonellerin kaliteli ve maliyet-etkin bakım sunabilmek için finansal planlama, kaynak kullanımını değerlendirme ve karar verme becerilerine ihtiyaç duyduğunu ortaya koymaktadır (Blumenthal vd., 2012). Bu bağlamda finansal bilgi düzeyi yalnızca yöneticiler için değil, sağlık hizmetlerinin her kademesinde yer alacak bireyler için gerekli bir temel yetkinlik olarak değerlendirilmektedir.

Son yıllarda, kariyerlerinin farklı aşamalarında bulunan sağlık çalışanlarının finansal okuryazarlık düzeyleri çeşitli araştırmalarla incelenmiştir. Literatürdeki bulgular, ileri düzey

akademik eğitime sahip olmalarına rağmen hekimlerin çoğunun finansal okuryazarlık açısından yetersiz olduklarını ortaya koymaktadır (Aery vd., 2017; Bhatacharya vd., 2023; Igu vd., 2022; Kovar vd., 2021; Royce vd., 2019). Benzer şekilde, araştırmalar sağlık öğrencileri, asistan hekimleri ve yüksek nitelikli sağlık personelinin temel finansal bilgi düzeylerinde yetersizlikler olduğu belirtilmiştir (Ahmad vd., 2017; Bar-Or, 2015; Royce vd., 2019).

Diğer yandan sağlık eğitimi alan öğrencilerin büyük bir bölümünün yüksek miktarda öğrenim kredisi borcuna sahip olduğu ve bunun finansal zorluklarını daha da derinleştirdiği ifade edilmektedir (Jayakumar vd., 2017). ABD'de yapılan çalışmalar, sağlık eğitimi alan öğrencilerin uzun vadeli tasarruf düzeylerinin düşük olduğunu, kredi notlarının zayıf olduğunu ve temel finansal kavramlara ilişkin bilgi düzeylerinin yetersiz kaldığını ortaya koymuştur. Aynı araştırmada sağlık çalışanların büyük çoğunluğunun finansal kredilere yüksek derecede bağımlı olduğu da belirtilmiştir (Ahmad vd., 2017).

Bu bulgular, finansal okuryazarlık eksikliğinin yalnızca mesleğe yeni başlayanları değil, deneyimli sağlık çalışanlarını da kapsayan yaygın bir sorun olduğunu göstermektedir. Bu durum, sağlık alanında eğitim gören öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerinin belirlenmesinin önemini artırmaktadır. Çünkü bu öğrenciler, gelecekte sağlık sektöründe klinik bakım, yönetim, bütçe kullanımı, malzeme planlaması, birim organizasyonu gibi görevlerde yer alacak bireylerdir. Bu nedenle finansal bilgi eksikliklerinin daha eğitim sürecindeyken tanımlanması, gelecekteki profesyonel rollerinde karşılaşabilecekleri zorlukların azaltılması açısından kritik bir adım olacaktır.

FİNANSAL OKURYAZARLIK

Sağlık öğrencilerine üniversite düzeyinde finansal okuryazarlık konusunda resmî ve planlı bir ders planın uygulanmadığı görülmektedir (Bar-Or vd., 2018; Jennings vd., 2019; Royce vd., 2019). Genel olarak lisans düzeyinden ileri tıp eğitimine kadar finansal okuryazarlığın öğrenilmesi ve bu konuda yetkinlik kazanılması için yapılandırılmış bir öğretim yöntemi bulunmamaktadır. Oysa sağlık öğrencilerinin ve profesyonellerinin bütçe yönetimi, gider- gelir yönetimi ve fiyatlandırma etkinliği, miras planlaması, yatırım stratejileri ve emeklilik planlaması gibi konularda bilgi sahibi olmaya ihtiyaçları söz konusudur (Adetayo vd., 2019; Ahmad vd., 2017; Bar-Or, 2015; Boehnke vd., 2018; Jayakumar vd., 2017; 2018; Mizell vd., 2014; Pisaniello vd., 2019; Satiani, 2004; Wagner ve Walstad, 2018).

ABD'de yürütülen çalışmalar, asistan hekimlerin ve sağlık öğrencilerin büyük çoğunluğunun finansal okuryazarlık eksikliği yaşadığını, finansal konuların çoğunda kendilerini rahat hissetmediklerini, finansal eğitime güçlü bir ihtiyaç duyduklarını ve güvenilir finansal rehberliği nereden edinebilecekleri konusunda kaygı taşıdıklarını ortaya koymuştur (McKillip vd., 2018; Shappell vd., 2018). Hisse senetleri, öğrenci kredileri, vergi planlaması, hayat sigortası, profesyonel ücretlendirme ve finansal/ticari planlama gibi konular katılımcıların büyük bölümü için bilinmeyen alanlar olarak belirlenmiştir (Jain vd., 2022).

Genel olarak sağlık öğrencilerinin finansal okuryazarlık anketlerinden aldıkları puanlar ortalama seviyenin altında kalmıştır (Lee vd., 2024; Mulligan vd., 2020) ve öğrencilerin büyük bir çoğunluğu finansal okuryazarlık eğitiminin sağlık eğitimi sürecinde verilmesi gerektiğini

belirtmiştir (Lee vd., 2024). Öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerini etkileyebilecek çeşitli faktörler arasında, bireyin kendi finansal bilgisini değerlendirmesi, kişisel finans yönetimine ilişkin özgüveni, cinsiyeti, almış olduğu eğitim ve kayıtlı olduğu sağlık programı ile finans alanında almış olduğu eğitim gibi değişkenlerin finansal okuryazarlık performansı ile ilişkili olduğu bulunmuştur (Jayakumar vd., 2017).

YÖNTEM

Nicel araştırma yöntemlerinden tarama modeli çerçevesinde yürütülen bu araştırmanın evrenini, Balıkesir Üniversitesi'ne bağlı Balıkesir İvrindi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencileri oluşturmaktadır. Evren içerisinden basit rastgele örnekleme yöntemi kullanılarak seçilen 75 öğrenci araştırmanın örneklemini meydana getirmiştir. Katılımcılar gönüllülük esasına göre belirlenmiş ve çalışmaya dâhil edilmiştir.

Veri toplama aracı olarak, öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeyleri ile bu düzeye ilişkin tutum ve davranışlarını ölçmek amacıyla Sarıgül (2015) tarafından geliştirilen Finansal Okuryazarlık Tutum ve Davranış Ölçeği kullanılmıştır. Buna ek olarak, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak katılımcıların yaş, cinsiyet, bölüm, öğrenim türü, aile gelir düzeyi gibi sosyo-demografik özelliklerini belirlemek amacıyla Demografik Bilgi Formu hazırlanmıştır. Araştırmada kullanılan anket formu, Google Forms aracılığıyla çevrim içi (online) ortamda uygulanmış; tüm veriler elektronik ortamda toplanarak analiz için hazırlanmıştır.

BULGULAR

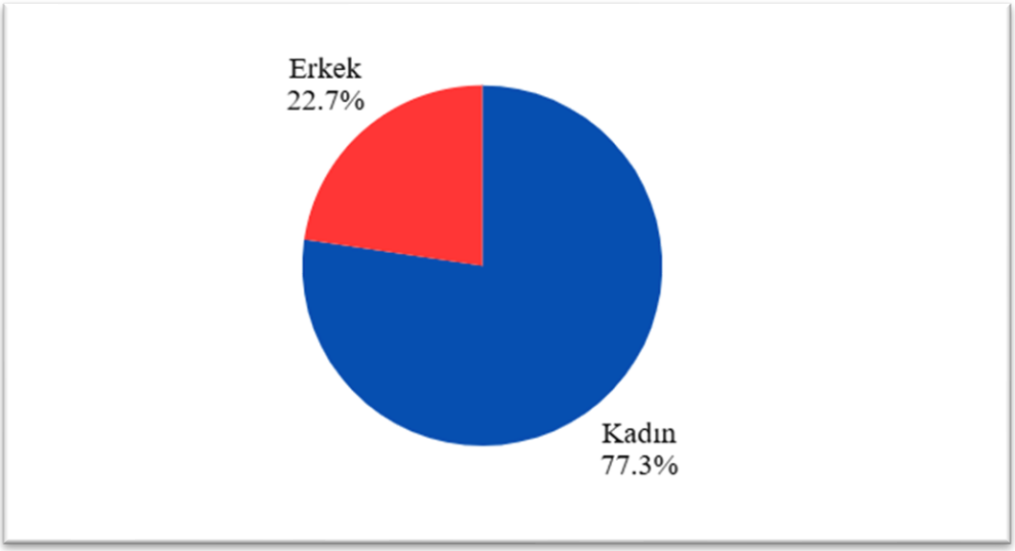
1. **Cinsiyete göre dağılım**

Cinsiyet	**Frekans (n)**	**Yüzde (%)**
Kadın	58	77.3
Erkek	17	22.7
Toplam	75	100.0

Tablo 1. Cinsiyete göre dağılım

Tabloya göre çalışmaya katılan 75 öğrencinin %77.3'ü kadın, %22.7'si ise erkektir. Bu bulgu, araştırmaya katılan grubun çoğunluğunu kadın öğrencilerin oluşturduğunu göstermektedir. Cinsiyet dağılımındaki bu farklılık, finansal okuryazarlık düzeylerinde olası cinsiyete dayalı farklılıkların değerlendirilmesi açısından önem arz etmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

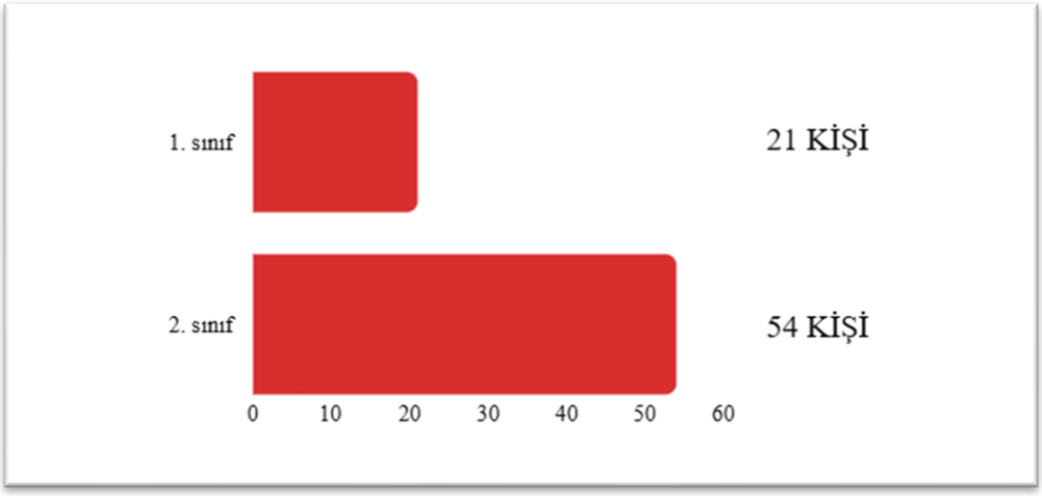


Grafik 1. Cinsiyete göre dağılım

1. **Sınıflara göre dağılım**

Sınıf	Frekans	Yüzde (%)
1. Sınıf	21	28
2. Sınıf	54	72
Toplam	75	100.0

Tablo 2. Sınıflara göre dağılım



Grafik 2. Sınıflara göre dağılım

Araştırmaya katılan 75 Meslek Yüksekokulu öğrencisinin sınıf düzeylerine göre dağılımı incelendiğinde, katılımcıların %28'inin 1. sınıf, %72'sinin ise 2. sınıf öğrencisi olduğu görülmektedir. Bu durum, araştırmanın örnekleminin büyük ölçüde birinci sınıf öğrencilerinden

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

oluştuğunu göstermektedir. Bu dağılım, öğrencilerin finansal okuryazarlık düzeylerinin değerlendirilmesinde sınıf düzeyine göre karşılaştırmalar yapılmasına olanak tanımaktadır.

Programlara göre dağılım

Program Adı	Frekans	Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
İlk ve Acil Yardım	21	28.0	28
Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik	54	72.0	72

Tablo 3. Programlara göre dağılım

Grafik 3. Programlara göre dağılım

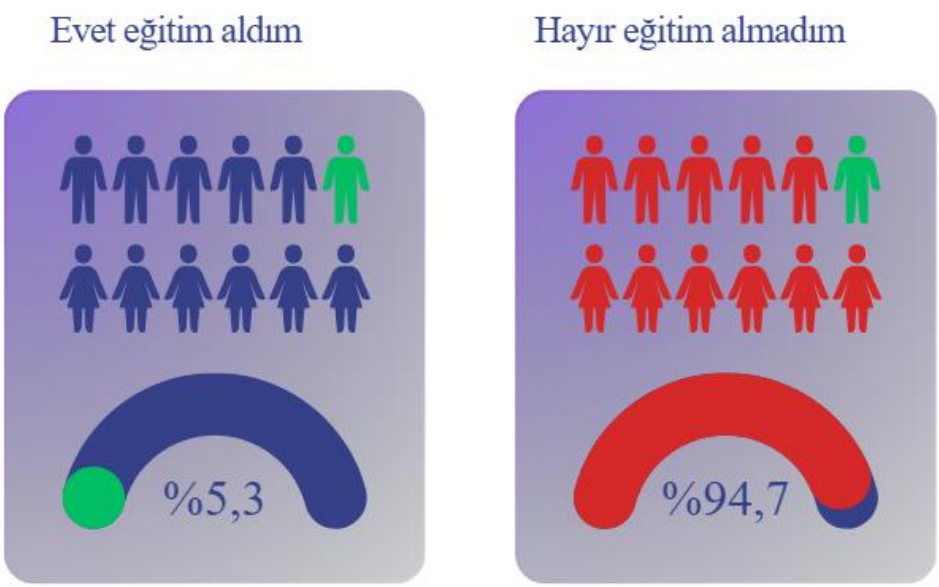
Araştırmaya katılan 75 öğrencinin programlara göre dağılımına bakıldığında, örneklemin büyük çoğunluğunu Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik öğrencilerinin oluşturduğu görülmektedir (**%72**). İlk ve Acil Yardım Programı öğrencileri ise örneklemin %28'ini oluşturarak daha küçük bir grubu temsil etmektedir.

2. Katılımcıların finansal okuryazarlık eğitimi alma durumları

	Frekans	Yüzde (%)	Geçerli Yüzde (%)	Kümülatif Yüzde (%)
Evet	4	5.3	5.3	5.3
Hayır	71	94.7	94.7	100.0
Toplam	75	100.0	100.0	100.0

Tablo 4. Katılımcıların finansal okuryazarlık eğitimi alma durumları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Grafik 4. Eğim alma durumları

Araştırmaya katılan 75 öğrencinin finansal okuryazarlık eğitimi alma durumlarına bakıldığında, yalnızca %17,3'ünün (n=13) daha önce böyle bir eğitim aldığını, buna karşılık büyük çoğunluğun (%82,7; n=62) herhangi bir finansal okuryazarlık eğitimi almadığını ifade ettiği görülmektedir. Bu dağılım, öğrencilerin finansal bilgi düzeylerini geliştirecek formal eğitim fırsatlarına önemli ölçüde ihtiyaç duyduğunu göstermekte ve çalışmada elde edilecek finansal okuryazarlık bulgularının büyük oranda eğitimsiz bir öğrenci grubunun mevcut farkındalık ve tutumlarını yansıttığına işaret etmektedir.

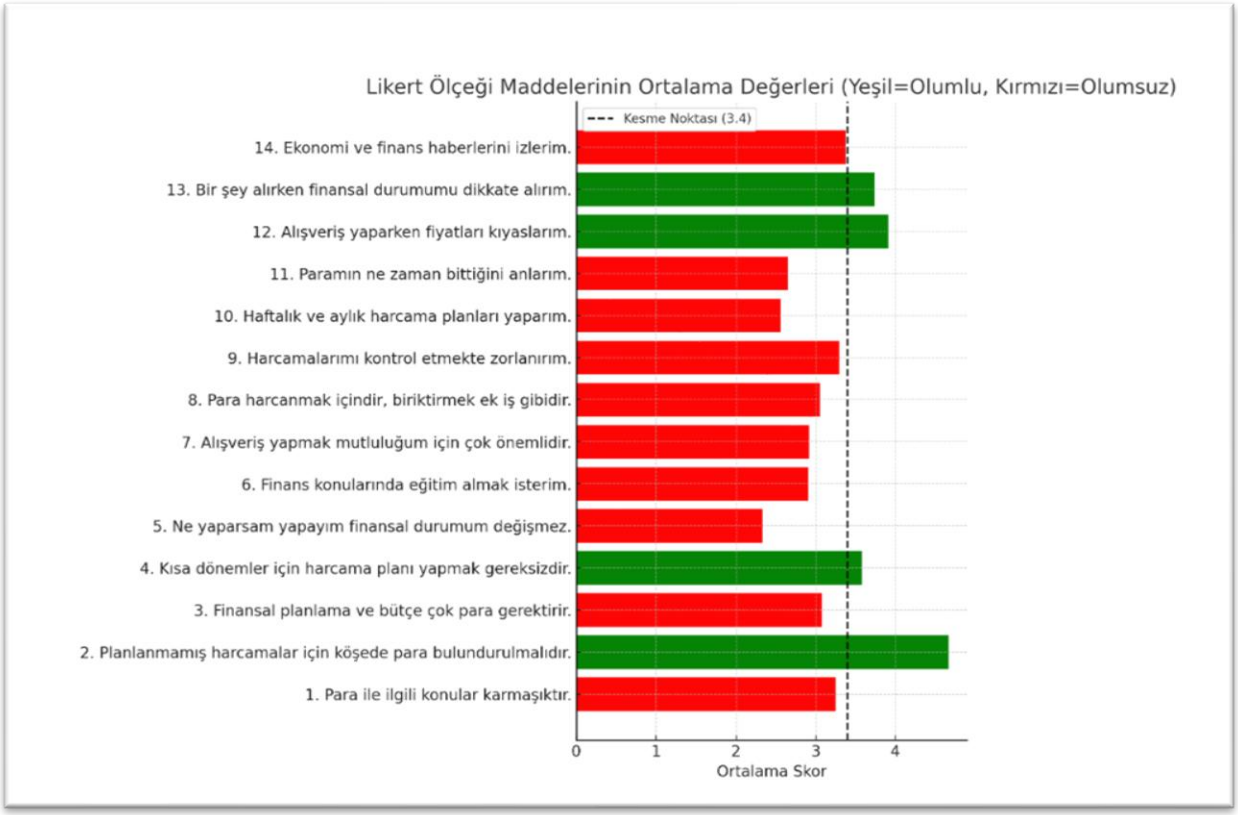
3. Finansal tutum ve davranış istatistikleri

Sorular	**Ortalama (Mean)**	**Standart Sapma (Std Dev)**
1. Para ile ilgili konular karmaşıktır.	3.25	1.104
2. Planlanmamış harcamalar için köşede para bulundurulmalıdır.	4.67	0.553
3. Finansal planlama ve bütçe çok para gerektirir.	3.08	1.15
4. Günlük ve haftalık gibi kısa dönemler için harcama planı yapmak gereksizdir.	3.58	1.41
5. Ne yaparsam yapayım finansal durumumda bir değişiklik olmaz.	2.33	1.04
6. Finans konularını da eğitim almak isterim.	2.9	1.43
7. Alışveriş yapmak mutluluğum için çok önemlidir.	2.92	1.33
8. Para, harcanmak içindir, biriktirmek ek iş gibi gelir.	3.05	1.20

9. Harcamalarımı kontrol etmekte zorlanırım.	3.30	1.35
10. Haftalık ve aylık harcama planları yaparım.	2.56	1.20
11. Paramın ne zaman bittiğini anlarım.	2.65	1.29
12. Alışveriş yaparken fiyatları kıyaslarım.	3.91	1.30
13. Bir şey satın alırken finansal durumumu dikkate alırım.	3.74	1.30
14. Gazetelerin ekonomi ve finans haberlerini izlerim.	3.37	1.31

Tablo 5. Katılımcıların Finansal tutum ve davranış istatistikleri

Tablo 5 bireylerin finansal tutum ve davranışlarına yönelik 14 ifadeye verdikleri yanıtların ortalamalarını yansıtmaktadır. Ortalama değerler 1 (kesinlikle katılmıyorum) ile 5 (kesinlikle katılıyorum) arasında değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan 5'li Likert tipi ölçek değerlendirmesinde, 3.40 puanı kesme noktası olarak kabul edilmiştir. Buna göre, ortalama değeri 3.40 ve üzeri olan maddeler olumlu finansal tutum ve davranış, 3.39 ve altı olan maddeler ise olumsuz ya da yetersiz finansal tutum ve davranış olarak değerlendirilmiştir.



Grafik 5. Finansal tutum ve davranış ortalama değerleri

Katılımcıların finansal davranışlarında öne çıkan olumlu eğilimler özellikle fiyat kıyaslama (3.91), satın alma kararında kendi finansal durumunu dikkate alma (3.74) ve planlanmamış harcamalar için kenarda para bulundurma eğilimi (4.67) maddelerinde ortaya çıkmaktadır. Bu maddeler, bireylerin rasyonel tüketici davranışları sergilediğini, alışveriş öncesinde

değerlendirme yaptığını ve finansal güvenlik adına koruyucu önlemler aldığını göstermektedir. Ayrıca kısa dönem bütçe yapmayı gereksiz bulmama (3.58) ve ekonomi-finans haberlerinin takip edilmesi (3.37 – kesme noktasına yakın), bireylerin finansal farkındalığının genel olarak orta–üst düzeyde olduğunu desteklemektedir. Bu olumlu maddeler bir arada düşünüldüğünde katılımcıların temel finansal kontrol yeteneklerine ve bilinçli tüketici davranışına sahip olduğu görülmektedir.

Olumsuz eğilim gösteren maddelerde katılımcıların daha çok finansal planlama, para yönetimi ve düzenli bütçe oluşturma konularında zorlandıkları göze çarpmaktadır. Özellikle haftalık/aylık harcama planı yapmama (2.56), paranın ne zaman biteceğini öngörememe (2.65) ve harcamaları kontrol etmekte zorlanma (3.30) gibi maddeler finansal disiplinde eksikliklere işaret etmektedir. Ayrıca finans konularının karmaşık algılanması (3.25), finans eğitimi alma isteğinin düşük olması (2.90) ve finansal planlama için çok para gerektiği düşüncesi (3.08) katılımcıların bilgi eksikliği ve öz-yeterlilik algısının düşük olabileceğini göstermektedir. Bu bulgular, katılımcıların finansal farkındalıklarına rağmen planlama, bütçe oluşturma ve finansal karar alma süreçlerinde zorluk yaşadıklarını ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde katılımcılar, bilinçli tüketici davranışlarına (fiyat karşılaştırma, düşünerek satın alma, para biriktirme) güçlü düzeyde sahip olmakla birlikte, finansal planlama ve düzenli bütçe yönetimi alanlarında önemli eksiklikler göstermektedir. Finansal okuryazarlığın davranışsal boyutu olumlu bir görünüm sergilese de, özellikle planlı hareket etme, finansal öngörü geliştirme ve harcama disiplini gibi becerilerin geliştirilmesi gerektiği görülmektedir. Bu sonuçlar, katılımcıların finansal sağlığını güçlendirmek için bütçe yönetimi, finansal farkındalık eğitimi ve temel planlama becerilerine yönelik destekleyici programların etkili olabileceğini göstermektedir.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırmada Sağlık Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin finansal tutum ve davranışları çeşitli değişkenler doğrultusunda incelenmiş, cinsiyet, sınıf, program türü ve finansal okuryazarlık eğitimi alma durumu gibi özellikler temelinde değerlendirilmeler yapılmıştır. Bulgular, örneklemin büyük çoğunluğunun kadın öğrencilerden ve ikinci sınıf düzeyinden oluştuğunu göstermektedir. Bununla birlikte, katılımcıların çok önemli bir kısmının (%94,7) daha önce herhangi bir finansal okuryazarlık eğitimi almamış olması, araştırmanın temel sonuçlarını şekillendiren kritik bir bulgu olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, öğrencilerin finansal karar alma süreçlerinde sergiledikleri davranışların büyük ölçüde kendi deneyimlerine ve sınırlı bilgilerine dayandığını göstermektedir.

Tüm maddelerin ortalaması ($\bar{X}$ = 3.23), belirlenen 3.40 kesme noktasının altında kalmıştır. Bu sonuç, öğrencilerin bütüncül olarak değerlendirildiğinde finansal okuryazarlık düzeylerinin düşük olduğunu ve özellikle finansal planlama, bütçe yönetimi ve finansal öz-yeterlilik alanlarında önemli eksikliklere sahip olduklarını göstermektedir. Genel ortalamanın sistematik biçimde kesme noktasının altında seyretmesi, öğrencilerin finansal karar alma süreçlerini destekleyecek güçlendirici eğitim müdahalelerine ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Finansal tutum ve davranışlara ilişkin bulgular incelendiğinde, öğrencilerin bazı alanlarda güçlü finansal davranışlar sergilediği görülmektedir. Örneğin fiyat karşılaştırma yapma, satın alma kararlarında kendi finansal durumunu dikkate alma ve beklenmedik harcamalar için kenarda para bulundurma davranışları öğrenciler arasında oldukça yaygındır. Bu durum, bilinçli tüketici davranışının öğrenci kitlesi içinde var olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, araştırmanın en dikkat çekici yönlerinden biri, öğrencilerin finansal okuryazarlığı oluşturan temel yönetimsel becerilerde belirgin zayıflıklar göstermesidir. Özellikle bütçe planlama yapmama, harcamaları kontrol etmede güçlük, paranın ne zaman biteceğini öngörememe, finansal konuları karmaşık algılama ve finans konusunda eğitim alma isteğinin düşük olması gibi bulgular, öğrencilerin finansal okuryazarlığın öz-yeterlilik, planlama ve finansal disiplin boyutlarında yetersizlik yaşadığını ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar, öğrencilerin günlük tüketim davranışlarında bilinçli olmalarına rağmen, uzun vadeli finansal yönetim ve planlama becerilerinde önemli eksikliklerinin bulunduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda, öğrencilerin finansal tutum ve davranışlarını geliştirmeye yönelik çeşitli öneriler sunulabilir. İlk olarak, üniversite bünyesinde finansal okuryazarlık eğitimlerinin zorunlu veya seçmeli ders olarak yapılandırılması öğrencilerin finansal bilgi ve farkındalık düzeylerini artırabilir. Ayrıca bütçe yönetimi, tasarruf teknikleri, harcama kontrolü, finansal hedef belirleme ve finansal risklerden korunma gibi konuların uygulamalı eğitim içerikleri ile desteklenmesi önerilmektedir. Öğrencilere yönelik atölye çalışmaları, seminerler ve dijital farkındalık materyalleri hazırlanarak finansal davranışların geliştirilmesi teşvik edilmelidir. Son olarak, öğrencilerin finansal eğitim programlarına erken dönemde (özellikle birinci sınıfta) erişmesi, finansal disiplinin yerleşmesi açısından önemli görülmektedir. Bu tür bütüncül yaklaşımlar, öğrencilerin finansal okuryazarlık becerilerini güçlendirecek ve uzun vadede daha sağlıklı finansal kararlar almalarına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Adetayo, O. A., Ford, R. S., Nair, L., & Eliann Reinhardt, M. (2019). The Oxymoron of financial illiteracy in a highly educated population: Are weappropriately equipping trainees? Plastic and Reconstructive Surgery—Global Open, 7(7), e2329.

Aery, A., Venugopal, R., Li, H., Patel, N., & Kumar, A. (2017). Financial literacy and preparedness among physicians.

Ahmad, F. A., Hashem, M. O., Al Hussain, M. A., Al-Shaikh, G. K., Al-Munajjed, A. A., & Thalib, L. (2017). Assessing financial literacy among medical residents.

Ahmad, F. A., White, A. J., Hiller, K. M., Amini, R., & Jeffe, D. B. (2017). An assessment of residents' and fellows' personal finance literacy: An unmet medical education need. International Journal of Medical Education, 8, 192–204.

Bar-Or, Y. D. (2015). Teaching medical students about personal finance: A novel curriculum.

Bhatacharya, A., Roy, S., & Hazra, A. (2023). Financial literacy among healthcare providers: A cross-sectional analysis.

Boehnke, M., Pokharel, S., Nyberg, E., & Clark, T. (2018). Financial education for radiology residents: Significant improvement in measured financial literacy after a targeted intervention. Journal of the American College of Radiology, 15(1), 97–99.e91.

Igu, N., Umeadi, O., & Abaraogu, U. (2022). Financial knowledge levels among healthcare workers in tertiary hospitals.

Jain, G., Agrawal, V., Sharma, D., Agarwal, P., Yadav, S. K., & Gupta, V. (2022). Personal financial literacy among Indian postgraduate residents. The National Medical Journal of India, 35(2), 105–107.

Jayakumar, K. L., Larkin, D. J., Ginzberg, S., & Patel, M. (2017). Personal financial literacy among U.S. medical students. MedEdPublish, 6, 35.

Jennings, J. D., Quinn, C., Ly, J. A., & Rehman, S. (2019). Orthopaedic surgery resident financial literacy: An assessment of knowledge in debt, investment, and retirement savings. The American Surgeon, 85(4), 353–358.

Kovar, A., Klein, T., & Addison, R. (2021). Understanding financial literacy in the healthcare workforce.

Lee, A., IV, Tarpeh, J. K., Manuel, E. C., Black, K. M., McMichael, B., Wilson, J., Matsuko, N., Englesbe, M. J., Fallon, B., Sandhu, G., & Tarpeh, J. K. (2024). Survey of medical student debt status, financial literacy, and desires for financial education. Michigan Journal of Medicine, 7, 7.

McKillip, R., Ernst, M., Ahn, J., Tekian, A., & Shappell, E. (2018). Toward a resident personal finance curriculum: Quantifying resident f inancial circumstances, needs, and interests. Cureus, 10(4), 2540.

Mulligan, E. P., Dickson, T., & DeVahl, J. (2020). Financial literacy among health professions graduate students. Journal of Allied Health, 49(3), 181–189.

Royce, T. J., Davenport, K. T., & Dahle, J. M. (2019). A burnout reduction and wellness strategy: Personal financial health for the medical trainee and early career radiation oncologist. Practical Radiation Oncology, 9(4), 231–238.

Sarıgül, H. (2015). Finansal Okuryazarlık Tutum Ve Davranış Ölçeği: Geliştirme, geçerlik ve güvenirlik. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 13*(1), 200-218. http://dx.doi.org/10.11611/JMER408

Shappell, E., Ahn, J., Ahmed, N., Harris, I., Park, Y. S., Tekian, A., & Jordan, J. (2018). Personal finance education for residents: A qualitative study of resident perspectives. AEM Education and Training, 2(3), 195–203.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SAĞLIK OKURYAZARLIĞININ ALT BOYUTLARI AÇISINDAN SAĞLIK MESLEK YÜKSEKOKULU ÖĞRENCİLERİNİN YETERLİKLERİ

Okan KOÇ

Doç. Dr., Balıkesir Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0002-5356-5940 Email: okan.koc@balikesir.edu.tr Cep Tel:05535057090

Özgür YILMAZ

Öğr. Gör., Balıkesir Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0001- 8884- 2381 Email: oyilmaz@balikesir.edu.tr Cep Tel:05354888666

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, sağlık hizmetlerinde önemli bir role sahip olacak sağlık meslek yüksekokulu öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeylerini belirlemek, alt boyutlarını incelemek ve demografik değişkenlerle ilişkisini değerlendirmektir. Literatürde sağlık meslek yüksekokulu öğrencilerine yönelik sağlık okuryazarlığı çalışmalarının sınırlı olması, bu araştırmanın önemini arttırmaktadır. Çalışma, nicel araştırma yöntemlerinden tarama modeli kapsamında yürütülmüştür. Araştırmanın evrenini Balıkesir Üniversitesi İvrindi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu öğrencileri oluştururken; basit rastgele örnekleme yöntemi ile seçilen 90 öğrenci örneklemi meydana getirmiştir. Veri toplama aracı olarak Kuzan, Beyazgül ve Karadağ (2024) tarafından geliştirilen Sağlık Okuryazarlığı Değerlendirme Ölçeği kullanılmış ve katılımcıların demografik özellikleri için ek bir bilgi formu uygulanmıştır.

Bulgular, öğrencilerin sağlık okuryazarlığı düzeylerinin boyutlar arasında farklılaştığını göstermektedir. **Anlama ve bilgiye erişim** boyutunda öğrencilerin temel sağlık bilgilerine erişme ve sağlık hizmetlerini kullanma becerilerinin yüksek olduğu, ancak sağlık personelinin sunduğu bilgiyi anlama ve sağlıkla ilgili metinleri yorumlama becerilerinde güçlendirilmesi gereken yönler bulunduğu belirlenmiştir ($\bar{X}$ = 3.68). **Uygulama ve karar verme** boyutunda öğrenciler reçete edilen ilacı zamanında kullanma ve sağlık bilgisini günlük yaşama uyarlama noktasında olumlu bir profil sergilerken; aşı yaptırma ve koruyucu sağlık davranışlarında geliştirilmesi gereken alanlar olduğu tespit edilmiştir ($\bar{X}$ = 2.88). **Değerlendirme ve karar verme** boyutunda ise öğrencilerin sağlık risklerini analiz etme, doktora başvuru gerekliliğini değerlendirme ve tedavi alternatiflerini karşılaştırma becerilerinin yüksek olduğu görülmüştür ($\bar{X}$ = 3.85). Dijital ortamdan elde edilen sağlık bilgisinin doğruluğunu değerlendirme konusunda bireysel farklılıkların bulunduğu dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak, öğrencilerin işlevsel sağlık okuryazarlığı düzeylerinin güçlü olduğu, ancak etkileşimsel ve eleştirel sağlık okuryazarlığı bileşenlerinde gelişime ihtiyaç duyulduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, sağlık profesyoneli adaylarının sağlık bilgisini analiz etme, sağlık personeli ile etkili iletişim kurma ve bilimsel bilgi ile yanlış bilgiyi ayırt etme becerilerini güçlendirmeye yönelik eğitim içeriklerinin müfredata sistematik şekilde entegre edilmesi önerilmektedir. Ayrıca koruyucu sağlık davranışlarının geliştirilmesi, aşı farkındalığının

artırılması ve dijital sağlık okuryazarlığı eğitimlerinin yaygınlaştırılması, öğrencilerin bütüncül sağlık okuryazarlığı düzeylerini destekleyecek önemli müdahale alanları olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık okuryazarlığı, etkileşimsel sağlık okuryazarlığı, eleştirel sağlık okuryazarlığı, koruyucu sağlık davranışları, dijital sağlık okuryazarlığı

HEALTH LİTERACY SUB-DİMENSİONS AND THE COMPETENCİES OF HEALTH VOCATİONAL SCHOOL STUDENTS

ABSTRACT

The aim of this study is to determine the health literacy levels of health vocational school students—who will play a crucial role in future health services—examine the subdimensions of health literacy, and assess their relationship with demographic variables. The limited number of studies focusing on health literacy among health vocational school students highlights the significance of this research. The study was conducted within the framework of the quantitative survey model. The population consisted of students studying at Balıkesir University İvrindi Vocational School of Health Services, and the sample comprised 90 students selected through simple random sampling. The Health Literacy Assessment Scale developed by Kuzan, Beyazgül, and Karadağ (2024) was used as the data collection tool, and an additional demographic information form was administered to collect participants' characteristics.

The findings indicate that students' health literacy levels vary across different dimensions. In the *access and understanding* dimension, students demonstrated strong abilities in accessing basic health information and using health services; however, they showed a need for improvement in understanding health professionals' explanations and interpreting written health materials ($\bar{X}$ = 3.68). In the *application and decision-making* dimension, students displayed positive behaviors such as taking prescribed medications on time and integrating health information into daily life, whereas areas requiring improvement included vaccination behaviors and preventive health practices ($\bar{X}$ = 2.88). In the *evaluation and decision-making* dimension, students showed high competence in analyzing health risks, determining the need to consult a physician, and comparing treatment options ($\bar{X}$ = 3.85). Notably, considerable individual differences were observed in evaluating the accuracy of online health information.

Overall, the results reveal that students exhibit strong functional health literacy skills, while improvements are needed in interactional and critical health literacy. Accordingly, it is recommended that educational curricula systematically incorporate training aimed at enhancing students' abilities to analyze health information, communicate effectively with health professionals, and distinguish scientific information from misinformation. Additionally, strengthening preventive health behaviors, increasing vaccination awareness, and expanding digital health literacy training are considered key intervention areas that may contribute to improving students' comprehensive health literacy.

Keywords: Health literacy, interactive health literacy, critical health literacy, preventive health behaviors, digital health literacy

GİRİŞ

İlk kez Simonds (1974) tarafından kullanılan sağlık okuryazarlığı; sağlık hizmetleri, hastalıkların önlenmesi, sağlığın geliştirilmesi noktasında günlük yaşamda yargılarda bulunmak ve karar vermek amacıyla sağlık bilgisine erişme, bu bilgiyi anlama, değerlendirme ve kullanma yönündeki bilgi, motivasyon ve beceriler bütünü olarak tanımlanmaktadır (Sorensen vd., 2012; Sorensen vd., 2021; Koç, 2023; Uyar, Aka ve Koç, 2025). Bunun yanı sıra Avrupa Sağlık Okuryazarlığı Araştırma (HLS-EU) projesi, sağlık okuryazarlığını bireysel yaklaşımlar ile halk sağlığını bütünleştiren ve geliştirilebilir bir sağlık belirleyicisi olarak vurgulamaktadır (Sorensen vd., 2015; Nutbeam ve Lloyd, 2021). Sağlık okuryazarlığı, güncel sağlık, sosyal ve eğitim politikalarının bir parçasıdır ve bireysel yetkinliklerin yanı sıra çevresel faktörlere, kaynaklara ve bağlama bağlı olarak şekillenmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri'nde yetişkinlerin yalnızca %12'si yeterli düzeyde sağlık okuryazarlığı becerisi sergilemektedir (Kutner vd. 2006). Institute of Medicine (IOM) tarafından yayımlanan temel rapor *Health Literacy: A Prescription to End Confusion* (2004) üzerinden 10 yıldan fazla süre geçmiş olmasına rağmen bu tarihi rapor, sınırlı sağlık okuryazarlığına sahip hastalarla etkili iletişim kurabilmeleri için sağlık profesyonellerinin özel olarak eğitilmeleri gerektiğini açık biçimde vurgulamaktadır (IOM, 2004). Ancak buna rağmen, sağlık profesyonelleri okullarında sağlık okuryazarlığını ele alan resmi gereklilikler veya kapsamlı müfredatlar oldukça sınırlı olduğu da görülmektedir (IOM, 2004). Sağlık okuryazarlığı eğitimine ayrılan süre ise sağlık programlarının yoğun içerikleri nedeniyle yetersiz kalmaktadır (Harper, Cook ve Makoul, 2007; Owens ve Walden, 2007).

Sağlık meslek yüksekokulu öğrencilerine yönelik sağlık okuryazarlığı eğitimi konusunda yapılmış araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir ve mevcut çalışmaların büyük bir kısmı sağlık bilimleri fakültesi ile tıp öğrencileri üzerinde yoğunlaşmaktadır (Güven, Bulut ve Öztürk, 2018; Saunders vd., 2019; Yılmaz, Saygılı ve Kaya, 2020; Soysal ve Obuz, 2020; Tuğut, Yılmaz, ve Çelik, 2021). 2016 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada tıp öğrencilerine zorunlu bir ders uygulanmış ve ders öncesi–ders sonrası değerlendirmelerde öğrencilerin bilgi düzeylerinde ve öz-yeterlik algılarında anlamlı artışlar olduğu belirlenmiştir (Coleman vd., 2016). Ancak bu artışlar bir yıl sonra yapılan değerlendirmelerde sürdürülememiş; buna karşın öğrencilerin sağlık okuryazarlığına ilişkin makale incelemeleri sonrasında puanları tekrar anlamlı biçimde yükselmiştir.

Benzer şekilde, birinci sınıf eczacılık öğrencilerinin sağlık okuryazarlığına ilişkin bilgi ve özgüven düzeyleri, sınıf içi ders ve atölye uygulamalarını içeren bir müdahale sonrasında ders öncesine kıyasla anlamlı biçimde arttığı tespit edilmiştir (Mnatzaganian vd., 2017). Uygulamalı öğrenme yöntemleri de sağlık okuryazarlığı eğitiminde kullanılmış; özellikle sağlık yönetimi lisans öğrencileriyle yürütülen çalışmalar, niteliksel olarak öğrencilerin sağlık okuryazarlığına yönelik anlayış ve tutumlarında iyileşme sağlandığını göstermiştir (Riley vd., 2008).

Bu bağlamda, sağlık okuryazarlığının hem bireysel hem de toplumsal sağlık çıktıları üzerindeki belirleyici rolü, özellikle sağlık alanında eğitim gören öğrenciler için ayrı bir önem taşımaktadır. Sağlık hizmetlerinin önemli bir bileşeni olan sağlık meslek yüksekokulu öğrencileri, gelecekte doğrudan hasta bakım süreçlerinde görev alacakları için yüksek düzeyde sağlık okuryazarlığı

becerisine sahip olmaları beklenmektedir. Ancak literatürde, bu öğrenci grubunun sağlık okuryazarlığı yeterliklerini sistematik biçimde değerlendiren çalışmaların son derece sınırlı olduğu görülmektedir. Bu durum, sağlık profesyoneli adaylarının mevcut sağlık okuryazarlığı düzeylerinin belirlenmesi, güçlü ve zayıf yönlerinin tespit edilmesi ve eğitim programlarının bu doğrultuda yeniden yapılandırılması ihtiyacını ortaya koymaktadır. Buradan hareketle bu araştırma, sağlık meslek yüksekokulu öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeylerini, alt boyutlarını ve demografik değişkenlerle ilişkisini inceleyerek alanyazındaki boşluğu doldurmayı ve sağlık okuryazarlığı eğitimine yönelik kanıta dayalı iyileştirme önerileri sunmayı amaçlamaktadır.

YÖNTEM

Bu araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden tarama modeli çerçevesinde yürütülmüştür. Çalışmanın evrenini, Balıkesir Üniversitesi'ne bağlı Balıkesir Meslek Yüksekokulunda öğrenim gören öğrenciler oluşturmaktadır. Örneklem grubunu ise basit rastgele örnekleme yöntemi ile belirlenen toplam 90 öğrenci meydana getirmiştir. Katılımcılar gönüllülük esasına göre belirlenmiş ve çalışmaya bu esas doğrultusunda dâhil edilmiştir.

Veri toplama aracı olarak, öğrencilerin sağlık okuryazarlığı düzeylerini ölçmek amacıyla Kuzan, Beyazgül ve Karadağ (2024) tarafından geliştirilen Sağlık Okuryazarlığı Değerlendirme Ölçeği kullanılmıştır. Ayrıca, katılımcıların yaş, cinsiyet, bölüm, öğrenim türü, aile gelir düzeyi gibi demografik bilgilerini belirlemeye yönelik demografik bilgi formu da araştırmaya dahil edilmiştir.

Araştırmada kullanılan anket formu, Google Forms aracılığıyla çevrim içi (online) olarak hazırlanmış ve uygulanmıştır. Verilerin tamamı elektronik ortamda toplanmış ve analiz sürecine uygun şekilde dijital olarak kaydedilmiştir.

BULGULAR

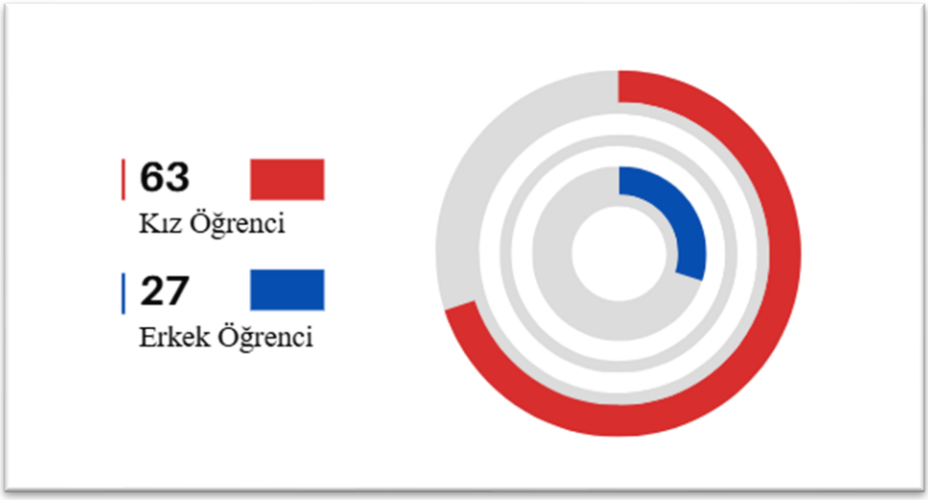
Cinsiyete göre dağılım

Cinsiyet	Frekans (n)	Yüzde (%)
Kadın	63	70
Erkek	27	30
Toplam	90	100.0

Tablo 1. Cinsiyete göre dağılım

Tabloya göre çalışmaya katılan 90 öğrencinin %70'i kadın, %30'u ise erkektir. Bu bulgu, araştırmaya katılan grubun çoğunluğunu kadın öğrencilerin oluşturduğunu göstermektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Grafik 1. Cinsiyete göre dağılım

Demografik Değişkenlere Göre Sağlık Okuryazarlığı Düzeylerinin Karşılaştırılması

Cinsiyete Göre Sağlık Okuryazarlığı Düzeyleri

Cinsiyet değişkenine göre yapılan bağımsız örneklem t-testi sonucunda, *Anlama/Bilgiye Erişim* boyutunda kadın ve erkek öğrenciler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmuştur ($t \approx -2.65$, $p = .009$). Kadın öğrencilerin ortalama puanlarının erkeklere göre daha yüksek olması, kadınların sağlık bilgisine erişme, anlama ve yorumlama süreçlerinde daha güçlü bir konuma sahip olduğunu göstermektedir.

Buna karşın *Değerlendirme/Aşı Farkındalığı* ($p = .547$), *Uygulama/Karar Verme* ($p = .368$) ve *Toplam Sağlık Okuryazarlığı* ($p = .649$) puanlarında cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu bulgu, genel sağlık okuryazarlığı düzeyinin cinsiyetten bağımsız olarak benzer şekilde dağıldığını ortaya koymaktadır.

Programa Göre Sağlık Okuryazarlığı Düzeyleri

Program türü (İlk ve Acil Yardım – Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik) değişkenine göre yapılan bağımsız örneklem t-testi sonuçları, üç alt boyutun hiçbirinde anlamlı fark olmadığını göstermiştir:

- *Anlama/Bilgiye Erişim* ($p = .875$),
- *Değerlendirme/Aşı Farkındalığı* ($p = .178$),
- *Uygulama/Karar Verme* ($p = .319$).

Ayrıca toplam sağlık okuryazarlığı puanlarında da programlar arasında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($p = .938$). Bu sonuç, her iki programdaki öğrencilerin sağlık okuryazarlığı becerilerinin benzer düzeyde olduğunu ve program türünün sağlık okuryazarlığı üzerinde belirleyici bir faktör olmadığını göstermektedir.

Sınıfa Göre Sağlık Okuryazarlığı Düzeyleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Sınıf düzeyine ilişkin t-testi çalıştırıldığında veri formatı nedeniyle grupların ayrışmadığı görülmüş, bu nedenle geçerli bir t-testi sonucu elde edilememiştir. Verilerin yeniden kategorize edilmesi sonrasında sınıf karşılaştırması yapılabilir. Ancak mevcut veri düzeninde sınıf değişkeni analiz için uygun olmadığından sınıf düzeyine göre anlamlılık testi raporlanamamıştır.

Yapılan t-testi analizleri genel olarak değerlendirildiğinde, sağlık okuryazarlığı düzeylerinin cinsiyet ve program türü değişkenlerine göre büyük ölçüde benzerlik gösterdiği görülmektedir. Cinsiyet açısından yalnızca *Anlama/Bilgiye Erişim* boyutunda kadın öğrenciler lehine anlamlı bir fark bulunması dikkat çekicidir. Program türü ise sağlık okuryazarlığının hiçbir boyutu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip değildir.

Bu sonuçlar, sağlık okuryazarlığı düzeyini artırmaya yönelik eğitim ve bilgilendirme çalışmalarının tüm öğrenci gruplarına yönelik olarak planlanmasının uygun olacağını göstermektedir. Özellikle erkek öğrencilerin sağlık bilgisini anlama ve yorumlama süreçlerinde desteklenmesi, programlar arası benzerlik göz önüne alındığında ise programdan bağımsız bütüncül müdahalelerin etkili olacağı düşünülmektedir.

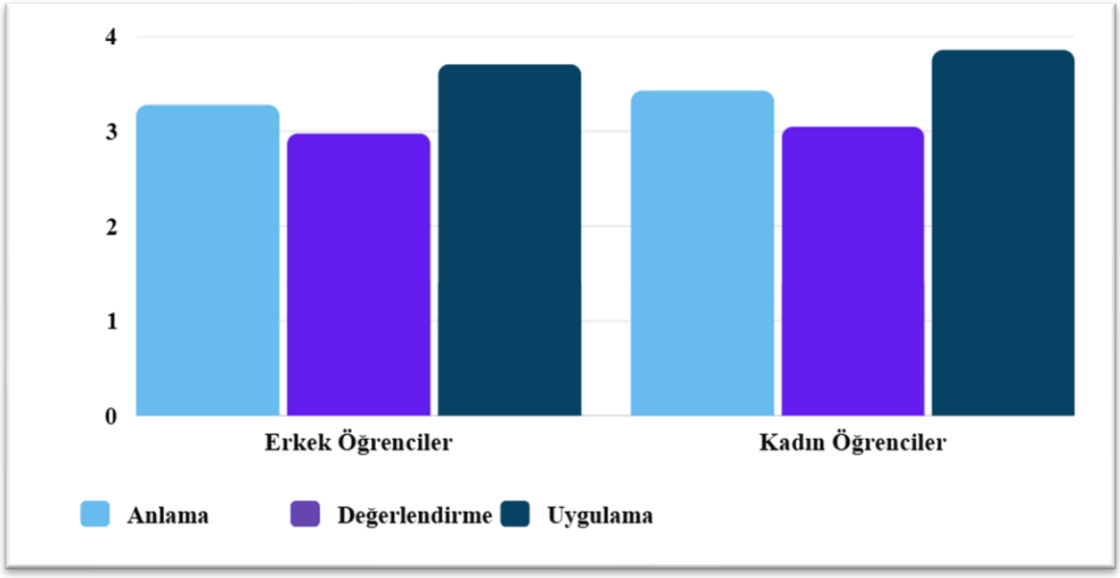
Grafik 2. Cinsiyete göre sağlık okuryazarlığı alt boyutları

Grafik, kadın ve erkek öğrencilerin sağlık okuryazarlığının üç alt boyutta (anlama, değerlendirme, uygulama) gösterdiği ortalama skorları karşılaştırmaktadır. Bulgular, her iki cinsiyet grubunda da uygulama boyutunun en yüksek ortalamaya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, öğrencilerin sağlıkla ilgili davranışları uygulama noktasında görece daha başarılı olduklarını işaret etmektedir.

Kadın öğrencilerin uygulama (3.86) ve anlama boyutlarında (3.43) erkeklere kıyasla biraz daha yüksek puanlar aldığı görülmektedir. Erkek öğrencilerde ise üç boyutta da ortalamaların birbirine yakın olduğu, ancak genel düzeyin kadınlara kıyasla biraz daha düşük seyrettiği anlaşılmaktadır.

Her iki cinsiyette de uygulama ve karar verme boyutunun diğer boyutlara göre daha düşük ortalamaya sahip olması (3.00 civarı), öğrencilerin sağlık bilgilerini uygulama ve karar verme becerilerinin görece daha sınırlı olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, sağlık okuryazarlığını geliştirmeye yönelik eğitimlerde özellikle eleştirel değerlendirme ve karar verme süreçlerinin güçlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

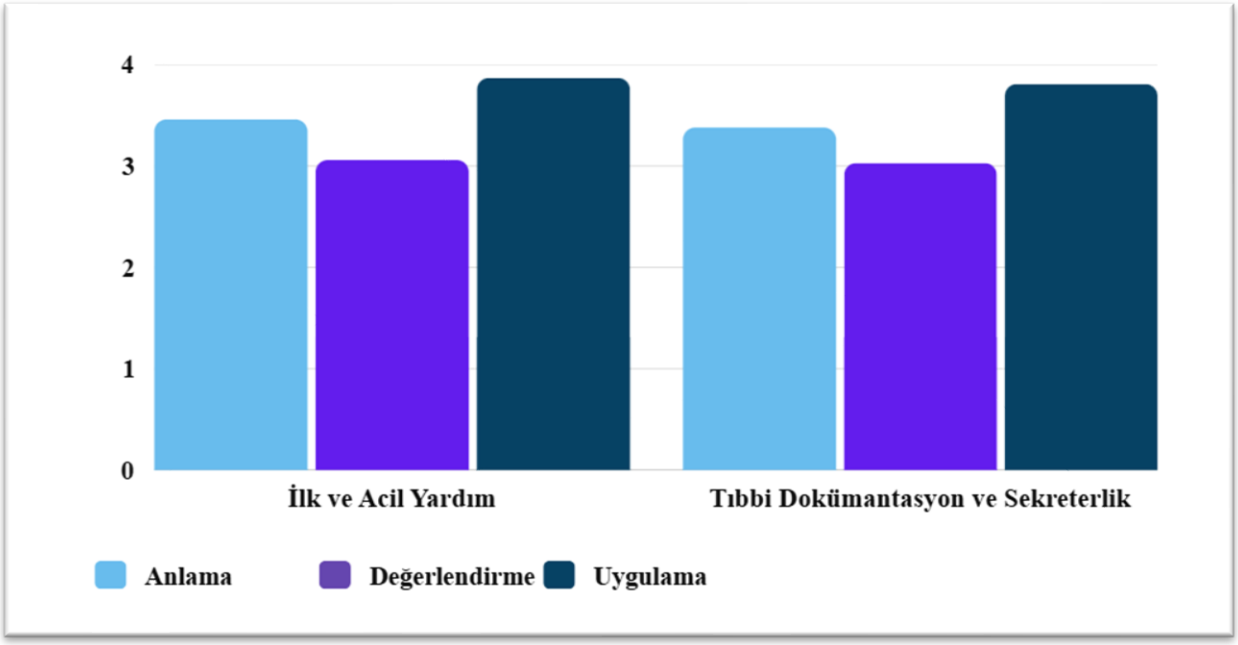
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Grafik 2. Cinsiyete göre sağlık okuryazarlığı alt boyutları

Programa göre yapılan değerlendirme sonucunda, İlk ve Acil Yardım (İAY) ve Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik (TDS) öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı alt boyutlarında benzer fakat İAY lehine hafif üstünlük gösteren bir eğilim olduğu görülmektedir. İAY öğrencileri anlama (3.46), değerlendirme (3.06) ve uygulama (3.87) boyutlarında TDS öğrencilerinden sırasıyla 3.38, 3.03 ve 3.81 olan ortalamalara kıyasla daha yüksek skorlar elde etmiş; her iki programda da en güçlü boyutun uygulama ve karar verme olduğu belirlenmiştir. Buna karşın Değerlendirme/Aşı Farkındalığı boyutu her iki grupta da en düşük ortalamaya sahip alt boyut olup, öğrencilerin sağlık bilgilerini analiz etme ve eleştirel değerlendirme süreçlerinde geliştirilmesi gereken yönler bulunduğunu göstermektedir. Genel olarak, iki program arasındaki farklar istatistiksel olarak anlamlı olmamakla birlikte, eğilimsel olarak İAY öğrencileri tüm alt boyutlarda daha yüksek sağlık okuryazarlığı düzeyi sergilemekte; her iki programda da sağlık okuryazarlığı düzeyinin orta düzeyde seyrettiği görülmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Grafik 3. Programa göre sağlık okuryazarlığı alt boyutları

Grafik 4. Programlara göre dağılım

Araştırmaya katılan 90 öğrencinin programlara göre dağılımına bakıldığında, örneklemin büyük çoğunluğunu İlk ve Acil Yardım Programı öğrencilerinin oluşturduğu görülmektedir (%52.2). Tıbbi Dokümantasyon ve Sekreterlik Programı öğrencileri ise örneklemin %47.8'ini oluşturmaktadır.

Sağlık Konulu Bilgiyi Anlama ve Bilgiye Erişim

Sorular	**Ortalama (Mean)**	**Standart Sapma (Std Dev)**
1. Eczacının ilaç kutusu üzerine yazdığı işaretleri anlama	4.08	0.67
2. Sağlıkla ilgili yazıları okuma	2.89	0.87
3. İnternetten sağlık bilgisi arama	3.80	0.64

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

4. Gıda etiketlerini okuma	3.78	0.85
5. İlaç prospektüsü (kullanım bilgisi) okuma	3.72	1.34
6. İlaç prospektüsü (yan etki, uyarı) okuma	4.12	0.65
7. Ameliyat/yatış öncesi bilgilendirmeyi anlama	4.34	0.69
8. Sağlık sorunu olduğunda hastaneye başvurma	4.31	0.53
9. Hastane yönlendirme tabelalarını okuma	4.72	0.50
10. Sağlık personelinin verdiği bilgiyi anlama	2.39	1.15
11. Acil durumda 112'yi arayabilme	4.66	0.72
12. Hastalık durumunda internetten tedavi arama	1.20	0.72
13. Sağlık bilgisini yakın çevreyle paylaşma	3.83	0.64

Tablo 2. Sağlık konulu bilgiyi anlama ve bilgiye erişim tutum ve davranış istatistikleri

Tabloya göre "anlama ve ilgiye erişim" boyutunda elde edilen bulgular, öğrencilerin temel sağlık bilgilerine erişme ve sağlık hizmetlerini kullanma becerilerinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Özellikle hastane yönlendirme tabelalarını okuyabilme (4.72), acil durumda 112'yi arayabilme (4.66) ve ameliyat/yatış bilgilendirmesini anlama (4.34) gibi maddelerde yüksek skorlar elde edilmiştir. Bu durum, öğrencilerin işlevsel sağlık okuryazarlığı bileşenlerinde güçlü olduklarını göstermektedir.

Buna karşın, sağlık personelinin verdiği bilgiyi anlama (2.39) ve sağlıkla ilgili yazıları okuma (2.89) gibi maddeler düşük ortalama değerlerle dikkat çekmektedir. Bu sonuçlar, öğrencilerin kritik sağlık bilgisini yorumlama ve sağlık profesyonelleriyle iletişim kurma becerilerinde görece daha zayıf olduğunu ortaya koymaktadır. İnternetten tedavi arama eğiliminin çok düşük çıkması (1.20) ise potansiyel olarak riskli davranışlardan uzak durulduğunu işaret eden olumlu bir bulgu olarak değerlendirilebilir.

Genel olarak, öğrencilerin işlevsel sağlık okuryazarlığı düzeyleri güçlü olmakla birlikte, etkileşimsel ve eleştirel sağlık okuryazarlığı alanlarında gelişime ihtiyaç olduğu görülmektedir. "Anlama ve bilgiye erişim" boyutunun genel ortalama puanı $\bar{X} = 3.68$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, öğrencilerin günlük sağlık bilgilerini anlama, temel sağlık yönlendirmelerini takip etme ve sağlık hizmetlerine erişme becerilerinin görece güçlü olduğunu göstermektedir. Ancak ortalamanın 4.0'ın altında kalması, özellikle sağlık profesyonelinden alınan bilgiyi anlama ve yazılı metinleri yorumlama gibi alanlarda gelişim gereksiniminin sürdüğüne işaret etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan 5'li Likert tipi ölçek değerlendirmesinde, 3.40 puanı kesme noktası olarak kabul edilmiştir. Buna göre, ortalama değeri 3.40 ve üzeri olan maddeler olumlu finansal tutum ve davranış, 3.39 ve altı olan maddeler ise olumsuz ya da yetersiz finansal tutum ve davranış olarak değerlendirilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Sağlık Konulu Bilgiyi Uygulama ve Karar Verme

Sorular	Ortalama (Mean)	Standart Sapma (Std Dev)
1. Doktorun istediği tahlil/işlemleri yaparken yardıma ihtiyaç duyma	1.26	0.70
2. Doktorun verdiği ilacı zamanında kullanma	3.93	0.91
3. Yakın önerisiyle ilaç kullanma	1.73	1.05
4. Doktora gitmeden önce aktarlara danışma	1.14	0.63
5. Sağlığa iyi gelen bilgiyi uygulama	3.82	1.01
6. Aşı yaptırma eğilimi	3.41	0.83

Tablo 3. Sağlık konulu bilgiyi uygulama ve karar verme

Uygulama ve karar verme boyutuna ilişkin bulgular, öğrencilerin sağlık davranışlarını uygulama ve sağlıkla ilgili karar alma süreçlerinde genel olarak orta düzeyde bir yeterlilik sergilediklerini göstermektedir. Boyutun genel ortalaması $\bar{X} = 2.88$ olup, 5'li Likert ölçeğinde orta düzeyin altında bir performansa işaret etmektedir. Ölçekte en yüksek değerler doktorun reçete ettiği ilacı zamanında kullanma (3.93) ve sağlığa ilişkin yararlı bilgileri günlük yaşama uyarlama (3.82) maddelerinde görülmüş; bu durum öğrencilerin tedavi uyumu ve sağlıklı davranış geliştirme konularında görece güçlü olduklarını göstermektedir. Buna karşın doktora gitmeden önce aktarlara danışma (1.14) ve yakın çevrenin önerdiği ilaçları kullanma eğilimi (1.73) oldukça düşük düzeydedir; bu sonuç öğrencilerin yanlış veya riskli sağlık davranışlarından uzak durduğunu ve tedavi kararlarını yetkin sağlık profesyonellerine dayandırdığını ortaya koymaktadır. Aşı yaptırma eğiliminin orta düzeyde kalması (3.41), koruyucu sağlık davranışlarında geliştirilmesi gereken alanlar bulunduğuna işaret etmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, öğrenciler tedavi uyumu gerektiren davranışlarda güçlü bir profil sergilerken, koruyucu sağlık davranışları ve sağlık karar verme süreçlerinde ise ancak orta düzeyde bir yeterlilik göstermekte; bu durum uygulama ve karar verme boyutunda hedefe yönelik eğitim müdahalelerine ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır.

Sağlık Bilgisini Değerlendirme ve Karar Verme Boyutu

Sorular	Ortalama (Mean)	Standart Sapma (Std Dev)
1. Şikâyetin doktora gidip gitmemeyi gerektirdiğine karar verme	4.06	0.72
2. Gıda içeriğini inceleyerek sağlığı değerlendirme	3.94	0.88
3. Farklı tedavi seçenekleri arasında karar verme	3.91	0.65

4. Sağlığa zararlı çevresel etkenleri fark ederek karar verme	4.00	0.45
5. Sağlık taramalarının erken teşhisteki değerini değerlendirme	3.72	0.79
6. İnternetten ulaşılan sağlık bilgisinin doğruluğunu sorgulama	3.51	1.36
7. Aşının toplum sağlığına katkısını değerlendirme	3.79	1.18

Tablo 4. Sağlık bilgisini değerlendirme ve karar verme boyutu

Sağlık Bilgisini Değerlendirme ve Karar Verme Boyutu bulguları, öğrencilerin sağlıkla ilgili durumları analiz etme, bilgi kaynaklarını değerlendirme ve uygun sağlık davranışlarına karar verme becerilerinin genel olarak yüksek düzeyde olduğunu göstermektedir. Boyutun genel ortalaması $\bar{X}$ = **3.85** olup, 5'li Likert ölçeğinde güçlü bir değerlendirme ve karar verme performansına işaret etmektedir. En yüksek değerlere sahip maddelerden biri olan şikâyetin doktora başvurmayı gerektirip gerektirmediğine karar verme (4.06) ile çevresel ve davranışsal riskleri sağlığa etkisi açısından değerlendirme yetkinliği (4.00), öğrencilerin klinik ve koruyucu sağlık davranışları konusunda bilinçli olduklarını ortaya koymaktadır. Tedavi seçeneklerini karşılaştırabilme (3.91) ve gıda etiketlerini sağlık açısından yorumlayabilme (3.94) maddeleri ise öğrencilerin eleştirel sağlık okuryazarlığı düzeylerinin gelişmiş olduğunu göstermektedir. Buna karşın internetten ulaşılan sağlık bilgisinin doğruluğunu sorgulama maddesinin daha yüksek standart sapma ile birlikte orta-üst düzeyde kalması (3.51), dijital sağlık ortamındaki bilgi kirliliğini ayırt etmede bireysel farklılıklar bulunduğunu işaret etmektedir. Genel olarak bu boyut, öğrencilerin sağlık bilgisini eleştirel bir süzgeçten geçirerek karar verme süreçlerini etkili biçimde yönettiklerini ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırmada, Balıkesir Üniversitesi İvrindi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu'nda öğrenim gören toplam 90 öğrencinin sağlık okuryazarlığı düzeylerini anlama/bilgiye erişim, değerlendirme ve uygulama/karar verme boyutlarında incelemesi amaçlamıştır. Araştırma bulguları genel olarak değerlendirildiğinde, öğrencilerin sağlık okuryazarlığının işlevsel sağlık okuryazarlığı (temel bilgiyi anlama ve hizmetlere erişme) yönünden güçlü, ancak etkileşimsel ve eleştirel sağlık okuryazarlığı bileşenlerinde geliştirilmeye açık olduğu görülmektedir.

Anlama ve bilgiye erişim alt boyutunda, öğrencilerin sağlık yönlendirmelerini takip etme, acil durumlarda başvuru yapma ve temel sağlık bilgilerini kavrama konusunda yüksek puanlar aldığı; buna karşın sağlık personelinin verdiği bilgiyi anlama ve sağlıkla ilgili yazıları yorumlama gibi daha üst düzey bilişsel becerilerde zayıf olduğu saptanmıştır. Bu sonuç, öğrencilerin sağlık hizmetlerini kullanma becerisinin iyi düzeyde olmasına rağmen, sağlık bilgilerini analiz etme ve derinlemesine anlama süreçlerinde desteklenmeleri gerektiğini göstermektedir.

Uygulama ve karar verme boyutunda öğrenciler, reçete edilen ilacı zamanında kullanma ve sağlığa ilişkin yararlı bilgileri günlük yaşama uyarlama konusunda olumlu bir profil sergilemiştir. Ancak aşı yaptırma eğiliminin orta düzeyde kalması ve sağlık kararlarını bilimsel bilgiye dayandırma noktasında bazı bireysel farklılıklar bulunması, koruyucu sağlık davranışlarının daha fazla desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Değerlendirme ve karar verme boyutunda öğrencilerin genel olarak yüksek düzeyde performans göstermesi; sağlık risklerini fark etme, doktora başvuru gerekliliğine karar verme ve tedavi seçeneklerini değerlendirme alanında yeterli olduklarını göstermektedir. Ancak dijital ortamdan edinilen sağlık bilgisinin doğruluğunu sorgulama konusunda varyansın yüksek olması, dijital sağlık okuryazarlığı alanında bireyler arası farklılıklar bulunduğuna işaret etmektedir.

Demografik değişkenlere göre yapılan analizlerde, yalnızca "anlama ve bilgiye erişim" boyutunda cinsiyete bağlı anlamlı bir fark gözlenmiş; kadın öğrencilerin daha yüksek puanlar aldığı belirlenmiştir. Program türü ve ailede kronik hastalık bulunma durumu ise genel sağlık okuryazarlığı düzeylerinde sınırlı etkiye sahiptir. Tüm boyutlar birlikte ele alındığında, öğrencilerin sağlık okuryazarlığı düzeyinin orta düzeyde olduğu; özellikle etkileşimsel ve eleştirel sağlık okuryazarlığı alanlarında gelişim gereksiniminin bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, öğrencilerin temel sağlık bilgisini anlasalar da, karmaşık sağlık bilgilerini değerlendirme, sağlık personeliyle etkili iletişim kurma ve bilimsel bilgi ile yanlış bilgiyi ayırt etme gibi yetkinliklerde güçlendirilmeye ihtiyaç duyduklarını göstermektedir.

Bu doğrultuda aşağıdaki önlemler önerilmektedir;

- Sağlık okuryazarlığına yönelik müfredat entegrasyonu yapılmalı; özellikle anlama, değerlendirme ve karar verme süreçlerini güçlendirmeye yönelik ders içerikleri programlara eklenmelidir.
- Dijital sağlık okuryazarlığı becerileri geliştirilmelidir; öğrencilerin internetten ulaştıkları sağlık bilgisini doğrulama, kaynakları eleştirel değerlendirme ve bilgi kirliliğini ayırt etme yetkinliklerini artıracak eğitimler düzenlenmelidir.
- Koruyucu sağlık davranışları desteklenmelidir; aşı farkındalığı, erken teşhisin önemi ve düzenli sağlık taramalarının teşvik edilmesine yönelik seminer ve atölye çalışmaları gerçekleştirilmelidir.
- Sağlık profesyonelleri ile etkili iletişim becerileri güçlendirilmelidir; öğrencilerin sağlık personelinin sunduğu bilgiyi anlama ve doğru şekilde uygulama becerilerini artırmak için simülasyonlar ve rol oynama etkinlikleri yapılmalıdır.
- Uygulamalı eğitimler artırılmalıdır; öğrencilerin sağlık bilgisini gerçek yaşam senaryolarında kullanabilmelerini sağlayacak vaka analizleri, problem çözme etkinlikleri ve klinik gözlem imkanları sunulmalıdır.
- Programlar arasında kapsayıcı eğitim modelleri uygulanmalıdır; program türü sağlık okuryazarlığını anlamlı şekilde etkilemediği için tüm öğrencilere yönelik bütüncül eğitim stratejileri geliştirilmelidir.
- Erkek öğrenciler için hedefe yönelik müdahaleler yapılmalıdır; anlama/bilgiye erişim boyutunda kadın öğrencilerin daha yüksek puan aldığı dikkate alınarak erkek öğrencilerin bu alanda desteklenmesine yönelik özel içerikler hazırlanmalıdır.
- Kronik hastalığı olan aile bireyine sahip öğrenciler için farkındalık çalışmaları yapılmalıdır; değerlendirme boyutunda ortaya çıkan farklılıklar göz önünde bulundurularak bu öğrenci grubunun sağlık bilgisini değerlendirme becerilerinin geliştirilmesi sağlanmalıdır.

- Sağlık okuryazarlığını artırmaya yönelik kurumsal seviyede farkındalık kampanyaları oluşturulmalıdır; okul içi bilgilendirme panelleri, öğrenci kulüpleri aracılığıyla yürütülen etkinlikler ve akademik birim iş birlikleriyle sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmelidir.

KAYNAKÇA

Coleman, C. A., Peterson-Perry, S., & Bumsted, T. (2016). Long-Term Effects of a Health Literacy Curriculum for Medical Students. Family Medicine, 48(1), 49-53.

Güven, D. Y., Bulut, H., & Öztürk, S. (2018). Sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeylerinin incelenmesi/Examining the Health Literacy Levels of Health Sciences Faculty Students. Journal of History Culture and Art Research, 7(2), 400-409.

Harper W., & Cook S., & Makoul G. (2007). Teaching medical students about health literacy: 2 Chicago initiatives. American Journal of Health Behavior, 31, S111 - S114. 10.5993/AJHB.31.s1.14

Institute of Medicine. (2004). Health literacy: A prescription to end confusion. Washington, DC : National Academies Press.

Koç, O. (2023). Eleştirel sağlık okuryazarlığı becerilerinin önemi. In N. Bilgili (Ed.), Halk sağlığı sorunları (ss. 58–77). BİDGE Yayınları.

Kutner M., & Greenberg E., & Jin Y., & Paulson C. (2006). The health literacy of America's adults: Results from the 2003 National Assessment of Adult Literacy (NCES 2006-483). U.S. Department of Education. Washington, DC : National Center for Education Statistics.

Mnatzaganian, C., Fricovsky, E., Best, B. M., & Singh, R. F. (2017). An interactive, multifaceted approach to enhancing pharmacy students' health literacy knowledge and confidence. American Journal of Pharmaceutical Education, 81(2), 32. https://doi.org/10.5688/ajpe81232 PMID:28381892

Nutbeam, D., & Lloyd, J. (2021). Understanding and responding to health literacy as a social determinant of health. Annual Review of Public Health, 42(1), 159–173.

Owens L., & Walden D. (2007). Health literacy: The new essential in nursing education. Nurse Educator, 32, 238 - 239. 10.1097/01.NNE.0000299472.26691.f6

Riley, J., Cloonan, P., & Rogan, E. (2008). Improving student un derstanding of health literacy through experiential learn ing. The Journal of Health Administration Education, 25(3), 213-228. https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e31823ae6d1 PMID:19655629

Saunders, C., Palesy, D., & Lewis, J. (2019). Systematic review and conceptual framework for health literacy training in health pro fessions education. Health Profession Education, 5(1), 13-29. https://doi.org/10.1016/j.hpe.2018.03.003

Sørensen, K., Levin-Zamir, D., Duong, T. V., Okan, O., Brasil, V. V., & Nutbeam, D. (2021). Building health literacy system capacity: A framework for health literate systems. Health Promotion International, 36(Supplement 1), i13–i23.

Sørensen, K., Pelikan, J. M., Röthlin, F., Ganahl, K., Slonska, Z., Doyle, G., et al. (2015). Health literacy in Europe: Comparative results of the European Health Literacy Survey (HLS-EU). European Journal of Public Health, 25(6), 1053–1058. https://doi.org/10.1093/eurpub/ckv043

Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., ... & (HLS-EU) Consortium Health Literacy Project European. (2012). Health literacy and public health: a systematic review and integration of definitions and models. BMC public health, 12(1), 80.

Soysal, A., & Obuz, E. (2020). Sağlık okuryazarlığı: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi sağlık yönetimi öğrencileri üzerinde bir araştırma. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 17(2), 1198-1217.

Tuğut, N., Yılmaz, A., & Çelik, B. Y. (2021). Hemşirelik öğrencilerinin sağlık okuryazarlığı düzeyleri ile sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının belirlenmesi. Instıtute of Health Sciences Journal, 6(2), 120-128.

Uyar, F., Aka, N., & Koç, O. (2025). Sağlık Okuryazarlığından Dijital Sağlık Okuryazarlığına: Tıbbi Sekreterlik Eğitiminin Evrimi. Yapay Zeka ve Bilgi Yönetimi: Sağlık, Eğitim ve Toplum İçin Yenilikçi Uygulamalar, 29.

Yılmaz, A., Saygılı, M., & Kaya, M. (2020). Sağlık bilimleri fakültesi öğrencilerinin e-sağlık okuryazarlığı düzeylerinin belirlenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (31), 148-157.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SAĞLIK ÇALIŞANLARININ DUYGUSAL BULAŞMA DÜZEYİ İLE MERHAMET DÜZEYİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ ÜZERİNE KESİTSEL BİR ARAŞTIRMA

Dr. Öğr. Üyesi Gülhan GÖK[1]

Amasya Üniversitesi/Sabuncuoğlu Şerefedddin SHMYO,

gulhan.gok@amasya.edu.tr- 0000-0003-4462-2541

Fzt. Elif ÖÇAL KİNAY

Amasya Üniversitesi/Yüksek Lisans Öğrencisi,

elifocalkinay@gmail.com- 0009-0007-6872-5592

Dyt. Tuğçe KAPLAN

Amasya Üniversitesi/ Yüksek Lisans Öğrencisi,

tugceyly@gmail.com- 0009-0004-2956-2805

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu düzeylerin çeşitli demografik değişkenlere göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemektir. Kesitsel nitelikteki bu çalışmanın örneklemini, Türkiye'nin farklı şehirlerinde görev yapan ve kolayda örnekleme yöntemiyle seçilen 361 sağlık çalışanı oluşturmaktadır. Araştırma verileri kişisel bilgi formu, Duygusal Bulaşma Ölçeği ve Merhamet Ölçeği kullanılarak çevrim içi olarak toplanmıştır. Verilerin analizinde Mann-Whitney U, Kruskal-Wallis ve Spearman Korelasyon analizleri kullanılmıştır. Araştırma sonucunda sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca cinsiyet, medeni durum ve kuşak değişkenlerine göre katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinde anlamlı farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Duygusal bulaşma ile merhamet düzeyi arasında ise pozitif yönlü ve anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Araştırma sağlık çalışanlarının psikososyal ihtiyaçlarının değerlendirilmesi ve çalışma ortamında destekleyici müdahalelerin geliştirilmesi açısından önemdir. Bu bağlamda araştırma sonuçlarına göre yöneticilere, sağlık çalışanlarına ve araştırmacılara çeşitli öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Duygusal Bulaşma, Merhamet, Sağlık Çalışanları, Sağlık Kurumları.

A CROSS-SECTIONAL STUDY ON DETERMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE LEVEL OF EMOTIONAL CONTAGION AND THE LEVEL OF COMPASSION OF HEALTHCARE WORKERS

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine the relationship between emotional contagion and compassion levels among healthcare workers and to examine whether these levels differ according to various demographic variables. The sample of this cross-sectional study consisted of 361 healthcare workers working in different cities in Turkey, selected through a convenience

[1]Gülhan GÖK

sampling method. Data were collected online using a personal information form, the Emotional Contamination Scale, and the Compassion Scale. Mann-Whitney U, Kruskal-Wallis, and Spearman correlation analyses were used in data analysis. The study found that healthcare workers had high levels of emotional contagion and compassion. Furthermore, significant differences were found in participants' emotional contagion and compassion levels based on gender, marital status, and generation. A positive and significant relationship was found between emotional contagion and compassion levels. This study is important for assessing the psychosocial needs of healthcare workers and developing supportive interventions in the workplace. In this context, various suggestions were presented to managers, healthcare professionals and researchers based on the research results.

Keywords: Emotional Contagion, Compassion, Healthcare Workers, Health Institutions.

1.GİRİŞ

Sağlık çalışanları, hastaların acı ve ıstırap dolu yolculuklarında onlara eşlik eden hayati öneme sahip bir kitleyi oluştururlar. Bu eşlik etme sürecinde sağlık çalışanlarının hasta merkezli bir bakımı esas alarak merhametli, duyarlı, nazik ve empatik bir yaklaşım sergilemeleri beklenilir (Evli, 2023, s.105-106). Bunun içinse sağlık çalışanlarının hastanın ihtiyaçlarını etkin bir şekilde ele almaları, sadece fizyolojik ve fiziksel sorunlarına değil duygusal ihtiyaçlarına da odaklanmaları gerekir (Hastaoğlu, Bulut ve Mollaoğlu, 2023, s. 97; Korucu, Çekiç ve Şahan, 2021, s. 371). Bu süreçte bazen sağlık çalışanları hastalarının duygusal ifadesini otomatik ve istemsiz olarak taklit edebilmektedir (Köroğlu ve Öksüz, 2024, s. 1395). Duygusal bulaşma olarak ifade edilen bu durum empati duygusuyla yakından ilişkilendirilmekle birlikte otomatik ve istemsiz gelişmesi açısından empatiden farklıdır (Hatfield ve diğerleri, 1993, s. 97). Empati, bir kişinin kendisini karşısındaki kişinin yerine koyarak olaylara onun bakış açısı ile bakması, o kişinin duygularını ve düşüncelerini doğru olarak anlaması, hissetmesi ve bu durumu ona iletmesi sürecidir (Ersoy ve Köşger, 2016, s. 10). Hasta merkezli bakımda ise empati, sağlık çalışanları için hastanın deneyimlerini doğrudan bir bağ kurmadan anlayabilme becerisi olarak öne çıkmaktadır (Moudatsou ve diğerleri, 2020, s. 2). Diğer taraftan duygusal bulaşma, bireylerin çevrelerindeki kişilerin duygu durumlarını, yüz ifadelerini, ses tonlarını ve beden dillerini taklit ederek kendi duygularında benzer tepkiler oluşturma süreci olarak tanımlanmaktadır (Hatfield ve diğerleri, 1993, s. 97). İnsanların, duygusal durumlarını ve davranışsal tutumlarını bilinçli ya da bilinçsiz olarak başkalarına aktardığı sosyal etkileşim süreci duygusal bulaşma yoluyla gerçekleşmektedir (Hatfield ve diğerleri, 1992, s. 155-156).

Merhamet, başkalarına karşı genel bir iyiliksever tepki ve bir başkasının duygularını dolaylı olarak deneyimlemeyi ifade eden ve yine empatiden farklı olarak bir başkasının acısına tanıklık ederken ortaya çıkan ve sonrasında yardım etme arzusunu harekete geçiren bir duygudur (Goetz, Keltner ve Simon-Thomas, 2010, s. 351). Hatta merhamet bir duygunun ötesinde kişinin başkalarına karşı destekleyici, anlayışlı, nazik ve yardımsever olmaya ilişkin motivasyonu, yetenekleri/yeterlilikleri ve sosyal farkındalığıyla da bağlantılıdır (Gilbert, 2014, s. 19). Bu bağlamda merhamet duygusal, bilişsel ve motivasyonel bileşenlerin bir kombinasyonudur. Bu kombinasyonda öncelikle acının farkına varılır (bilişsel bileşen), acıdan duygusal olarak etkilenilir ve acıya sempati ile yaklaşılır (duygusal bileşen), bu acının

giderilmesine yönelik bir isteklilik duyulur ve bu acının giderilmesi için hazırlanılır (motivasyonel bileşen) (Jazaieri ve diğerleri, 2013, s. 1113).

Hastalara merhametle davranmanın, sağlık hizmetlerinin kalitesini ve klinik sonuçları iyileştirmek, hastaların aldıkları hizmete ilişkin memnuniyetini artırmak gibi faydaları olduğu ileri sürülmektedir (Strauss ve diğerleri, 2016, s. 19). Bununla birlikte merhametin faydaları sadece hastaya yönelik değildir, bireyin kendisi için de bazı faydaları bulunmaktadır (Almadani ve diğerleri, 2023, s. 1). Bu faydalar arasında ruh sağlığını ve duygu düzenlemesini etkilemek, kişilerarası ve sosyal ilişkileri iyileştirmek, sakinlik ve rahatlama sağlamak yer almaktadır (Kirby, 2017, s. 432). Diğer taraftan stres (Joinson, 1992, s. 116; Sinclair ve diğerleri, 2017, s. 9), başkalarının travmatik deneyimlerine sürekli empati kurarak maruz kalma (Figley, 1995, s. 14), yoğun empati ile karşılaşılan acıların içselleştirilmesi (Yücel ve Akoğlu, 2023, s. 384) ve tükenme (Cocker ve Joss, 2016, s. 618; Köroğlu ve Öksüz, 2024, s. 1395; Maslach ve Leiter, 1997) gibi nedenlere bağlı olarak görülen merhamet yorgunluğu ve merhamet gösterememe tıbbi hatalara, empati kaybına, hastalara karşı tahammülün azalmasına, sağlık hizmeti harcamalarının artmasına, hasta memnuniyetinin azalmasına (Dikmen ve Aydın, 2016, s. 16) ve bakım kalitesinin düşmesine neden olmaktadır (Almadani ve diğerleri, 2023, s. 10) Merhamet yorgunluğu ve merhamet gösterememenin sağlık profesyonelleri üzerinde ise uyku bozuklukları, karamsarlık, işe ve mesleğe karşı ilgide azalma, fiziksel rahatsızlıklar, kişisel ilişkilerde gerileme gibi etkilerinin olduğu görülmektedir (Dinç ve Ekinci, 2019, s. 192-202). Söz konusu olumsuz sonuçların birikimi, zamanla sağlık çalışanlarının iş ve yaşam kalitesini de bozmaktadır (Marshman, Hansen ve Munro, 2021, s. 530)

Grup halinde çalışılan mesleklerde (hemşireler, muhasebeciler, profesyonel sporcular vb.) gruba dahil olan bireylerin ruh hallerinin birbirlerini etkilediği tespit edilmiştir (Barsade, 2002, s. 645). Bu bulgu, duygusal bulaşmanın yalnızca bireyler arasındaki etkileşimlerde değil aynı zamanda iş ortamı gibi kolektif yapılarda da önemli bir rol oynadığını göstermektedir. Sağlık çalışanları da çalışma ortamlarında hastalar ve hasta yakınlarından yöneticilere kadar geniş bir kitleyle sürekli sosyal etkileşim içerisindedir. Dolayısıyla bu yoğun etkileşim, duygusal bulaşmanın sağlık alanında daha belirgin şekilde ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır (Demirkaya ve Sönmez, 2020, s. 803-804). Sağlık çalışanlarının sosyal etkileşimlere yoğun biçimde maruz kaldıkları çalışma ortamlarında, duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkinin anlaşılması hem çalışan refahı hem de sunulan sağlık hizmetinin niteliği açısından önemlidir.

Literatürde sağlık çalışanlarında duygusal bulaşma (Demirkaya ve Sönmez, 2020; Feng ve Cui, 2024) ve merhamet üzerine çeşitli çalışmalar (Çakmak ve diğerleri, 2025; Doğu ve Demirsoy, 2020; Erdem ve Uyaroğlu, 2021; Karakaş ve diğerleri, 2022) bulunsa da bu iki kavramın birlikte incelendiği araştırmalara rastlanmamıştır. Ayrıca önceki araştırmaların çoğu hemşireler, tıbbi sekreterler, psikologlar gibi belirli meslek gruplarıyla sınırlı örneklemler ve merhamet yorgunluğu (Dikmen ve Aydın, 2016; Evli, 2023; Köroğlu ve Öksüz, 2024) üzerine yürütülmüştür. Bu araştırma ile sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu düzeylerin demografik değişkenlere göre farklılaşıp farklılaşmadığını ortaya koymak amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yöneticilere, çalışanlara ve araştırmacılara çeşitli öneriler sunulmuştur. Böyle bir incelemenin hem sağlık çalışanlarının psikososyal ihtiyaçlarının daha sağlıklı değerlendirilmesine hem de

çalışma ortamında uygulanabilecek destekleyici müdahalelerin geliştirilmesine teorik bir zemin oluşturacağı düşünülmektedir. Araştırmaya konu olan değişkenlerin daha önce birlikte incelenmemesi ve araştırmanın sağlık çalışanlarını kapsayıcı nitelikte olması araştırmayı özgün kılmaktadır.

Araştırmanın amacı doğrultusunda ise aşağıdaki hipotezler oluşturulmuş ve test edilmiştir.

H1: Sağlık çalışanlarının demografik özelliklerine (kuşak, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, mesleki deneyim süresi, sahip olunan çocuk sayısı) göre merhamet düzeyleri arasında anlamlı bir fark vardır.

H2: Sağlık çalışanlarının demografik özelliklerine (kuşak, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, mesleki deneyim süresi, sahip olunan çocuk sayısı) göre duygusal bulaşma düzeyleri arasında anlamlı bir fark vardır.

H3: Sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki vardır.

2.ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışma nicel araştırma desenlerinden tarama deseni kullanılarak tasarlanmıştır. Nicel araştırmalar; sayısal veriler kullanarak kesin ve genellenebilir sonuçlara ulaşmayı amaçlayan araştırmalardır (Gürbüz ve Şahin, 2018, s. 102). Bu bağlamda araştırma kapsamında sağlık çalışanlarının (hekim, hemşire, ebe, tekniker, teknisyen, eczacı vb.) duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkiyi ve duygusal bulaşma düzeyinin merhamet düzeyini açıklama oranını sayısal verilerle ortaya koymak ve genellenebilir sonuçlara ulaşmak amaçlandığı için nicel araştırma yöntemi tercih edilmiştir. Ayrıca araştırma kapsamında katılımcıların demografik (kuşak, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, mesleki deneyim yılı, sahip olunan çocuk sayısı) özelliklerine göre duygusal bulaşma ve merhamet yorgunluğu düzeyleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığının ortaya konulması hedeflenmiştir. Katılımcıların hangi kuşakta yer aldığını belirlemede X kuşağı için 1965-1979; Y kuşağı için 1980-1999 ve Z kuşağı içinse 2000-2021 yılları arasında doğanlar dikkate alınmıştır (Armutcu ve Tan, 2023, s. 21). Kuşaklara göre inanç, değer, tutum ve davranışlarda farklılık olması (Mercan, 2016, s. 62-63) nedeniyle kuşaklara göre duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinde farklılık olma durumunu belirlemek istenmiştir. Araştırma zaman boyutu bakımından kesitsel özellikte olup amacı bakımından durum tespitine yönelik ilişkisel tarama modeline sahiptir.

Araştırmanın evrenini Türkiye genelinde farklı sağlık kurumlarında görev yapan toplamda 1.413.921 sağlık çalışanı oluşturmaktadır (Bora Başara ve diğerleri, 2023, s. 221). Evrenin büyüklüğü, zaman ve maliyet kısıtları göz önüne alındığında, araştırmada tam sayım yerine örnekleme yöntemine gidilmiştir. Bu çalışmada örneklem belirleme yöntemi olarak olasılığa dayalı olmayan örnekleme yöntemlerinden "Kolayda Örnekleme" tercih edilmiştir. Kolayda örnekleme; araştırmacının ulaşması en kolay olan, gönüllü ve müsait katılımcıların örnekleme dahil edildiği bir yöntemdir (Gürbüz ve Şahin, 2018, s. 132). Bu yöntemin seçilmesinde; sağlık çalışanlarının yoğun çalışma tempoları, geniş bir coğrafi alana yayılmış olmaları ve araştırmanın belirli bir zaman diliminde tamamlanması gerekliliği etkili olmuştur. Örneklem büyüklüğünün belirlenmesinde, evren büyüklüğünün 250000'den fazla olduğu durumlarda, %95 güven aralığı ve %5 hata payı ile örneklemin evreni temsil edebilmesi için ulaşılması

gereken minimum sayının 384 olduğu kabulü kullanılmıştır (Gürbüz ve Şahin, 2018, s. 130). Veri toplama süresi içerisinde 400 sağlık çalışanına erişim sağlanmıştır. Veri toplama formuna eklenilen kontrol sorusuna uygun yanıt vermeyen 39 katılımcının verileri analize dahil edilmemiştir. Bu bağlamda araştırmanın örneklemi 361 kişiden oluşmakta olup elde edilen sonuçlar evrene genellenemez.

Araştırma verilerinin toplanmasında katılımcıları tanımlamaya yönelik kişisel bilgi formu (yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzey, deneyim süresi), Duygusal Bulaşma Ölçeği (Akın, Uysal ve Akın, 2015) ve Merhamet Ölçeği (Akdeniz ve Deniz, 2016) kullanılmıştır. Doherty tarafından 1997 yılında geliştirilen Duygusal Bulaşma Ölçeği, Akın, Uysal ve Akın tarafından 2015 yılında Türkçe'ye uyarlanmış ve geçerlik ile güvenirlik çalışmaları yapılmıştır. Duygusal Bulaşma Ölçeği, bireylerin çevresindeki kişilerin çeşitli duygularını algılama yeteneklerini ve duygusal bulaşmaya karşı duyarlılık düzeylerini ölçmektedir. Ölçek, 15 maddeden oluşmakta olup, tek boyutludur. Doherty'nin (1997) özgün ölçeği dörtlü Likert formatında olduğundan, Türkçe uyarlamada (Akın, Uysal ve Akın, 2015) beşli ölçek kullanılmış olsa da çalışmamızda orijinal yapıya bağlı kalmak için dörtlü Likert formatı tercih edilmiştir. Maddeler "Asla (1)", "Nadiren (2)", "Sık sık (3)" ve "Her zaman (4)" şeklinde derecelendirilen 4'lü Likert tipi bir yapıya sahiptir. Ölçekten elde edilen toplam puan, bireyin duygusal bulaşma düzeyini göstermektedir; puan arttıkça bireyin çevresindeki kişilerin duygularını algılama ve bu duygulara tepki verme düzeyi de artmaktadır.

Araştırmada kullanılan Merhamet Ölçeği ise Pommier tarafından 2011 yılında geliştirilmiştir ve Akdeniz ve Deniz tarafından 2016 yılında Türkçe'ye uyarlanmıştır. Merhamet Ölçeği bireylerin merhamet duyma düzeylerini ölçmektedir. Sevecenlik, Umursamazlık, Paylaşımların Bilincinde Olma, Bağlantısızlık, Bilinçli Farkındalık ve İlişki Kesme olmak üzere altı alt boyuttan ve yirmi dört maddeden oluşan ölçek 5'li Likert tipi uygunluk derecelendirmesine sahiptir. Ölçeğin Sevecenlik Boyutu bireyin kendine ve başkalarına karşı anlayışlı bir tutum sergilemesini; Paylaşımların Bilincinde Olma Boyutu kimsenin mükemmel olmadığını ve acı çekmenin ortak bir insanlık deneyimi olduğunu fark etmeyi; Bilinçli Farkındalık Boyutu olumsuz duygulara dengeli bir yaklaşım geliştirmeyi, acıya kapılıp gitmemeyi Akdeniz ve Deniz, 2016, s. 51); Umursamazlık Boyutu başkalarının sorunlarına karşı duyarsız kalma eğilimini; Bağlantısızlık Boyutu üzüntü anlarında kendini diğerlerinden kopuk hissetmeyi; İlişki Kesme Boyutu ise acı çeken kişilerden uzak durma veya iletişimi kesme eğilimini ifade etmektedir (Ngai ve diğerleri, 2025, s. 2; Pommier, Neff ve Tóth-Király, 2019, s. 22). Merhamet Ölçeğinden alınan toplam puan arttıkça merhamet düzeyi de artmaktadır (Akdeniz ve Deniz, 2016, s. 50-61).

Araştırma verileri Google formlar üzerinden çevrim içi (online) ortamda ve yüz yüze toplanmıştır. Araştırma verilerinin elde edilmesinde kullanılan ölçeklerin öncelikle Cronbach's Alpha değerleri hesaplanmıştır. Cronbach's Alpha değeri ölçek maddelerinin homojenliğini gösteren ve 1,00-0,00 aralığında değişen bir değerdir (Alpar, 2021, s. 882). Yapılan analiz sonucunda Duygusal Bulaşma Ölçeğinin Cronbach's Alpha değeri 0,842; Merhamet Ölçeğinin ise 0,894 olarak bulunmuştur. Merhamet Ölçeğine ait alt boyutlarının Cronbach's Alpha değerleri ise Sevecenlik Boyutu için 0,889; Umursamazlık Boyutu için 0,717; Paylaşımların Bilincinde Olma Boyutu için 0,748; Bağlantısızlık Boyutu için 0,627; Bilinçli Farkındalık Boyutu için 0,89 ve İlişki Kesme Boyutu içinse 0,663 olarak tespit edilmiştir. Cronbach's Alpha

değerinin 0,80-1,00 aralığında olması ölçeğin yüksek güvenilirlikte olduğunu gösterirken 0,60-0,79 aralığında olması ise oldukça güvenilir olduğunu göstermektedir (Alpar, 2021, s. 882). Bu sonuçlara göre araştırmada kullanılan ölçekler ve alt boyutları yüksek ve oldukça güvenilirdir.

Araştırma kapsamında ölçeklere ait ortalama değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen ortalama değerlerine göre katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeyleri değerlendirilmiştir. Ortalamaların yorumlanmasında (Ölçek Önermesinden Elde Edilecek Maksimum Puan - Ölçek Önermesinden Elde Edilecek Minimum Puan)/Seçenek Sayısı formülü kullanılarak puanlama aralığı belirlenmiştir. Yapılan hesaplama sonucunda beşli Likert tipinde olan Merhamet Ölçeği ve alt boyutları için elde edilen değerler

1,00-1,80 Çok Düşük

1,81-2,60 Düşük

2,61-3,40 Orta

3,41-4,20 Yüksek

4,21-5,00 Çok Yüksek şeklinde yorumlanırken dörtlü Likert tipinde olan Duygusal Bulaşma Ölçeği için

1.00-1.75 Çok Düşük

1.76-2.50 Düşük

2.51-3.25 Yüksek

3.2-4.00 Çok Yüksek şeklinde yorumlanmıştır.

Araştırma hipotezlerine ilişkin analizlere başlanmadan önce verilerin normal dağılım gösterme durumları belirlenmiştir. Bunun için değişkenlerin çarpıklık ve basıklık değerleri, histogram grafikleri, incelenmiş olup veri seti 361 katılımcıdan elde edilen verilerden oluştuğu için Kolmogorov-Smirnov Testi yapılmıştır. Kolmogorov-Smirnov Testi katılımcı sayısının 50'den fazla olduğu durumlarda değişkenlerin normal dağılım gösterip göstermediğinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Test sonucunun anlamlı olması ($p<0,05$) değişkenlerin normal dağılım göstermediğini ifade etmektedir (Alpar, 2021, s. 109). Yapılan incelemelerde verilerin normal dağılım göstermedikleri belirlenmiş olup hipotezlerin test edilmesinde non-parametrik testler kullanılmıştır. İki gruptan oluşan değişkenlerle duygusal bulaşma ve merhamet düzeyi arasında anlamlı bir farklılık olup olmadığı Mann-Whitney U Testi ile ikiden fazla gruptan oluşan değişkenlerde ise Kruskal Wallis Testi ile test edilmiştir.

Araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Spearman Korelasyon Analizi kullanılmıştır. Spearman Korelasyon analizi, verilerin normal dağılım özelliği göstermediği durumdaki değişkenler arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılır (Gürbüz ve Şahin, 2018, s. 262). Elde edilecek korelasyon katsayısının değer aralığı +1 ile -1'dir. Pozitif değerler değişkenlerin aynı yönde, negatif değerler ise ters yönde değişim gösterdiğini ifade eder. Değişkenler arasındaki gücün düzeyini korelasyon katsayısının değeri belirler. Buna göre 0,00-0,39 değer aralığı zayıf düzeyde; 0,40-0,69 orta düzeyde ve 0,70-1,00 değer aralığı ise yüksek düzeyde ilişki olduğunu gösterir (Alpar, 2021, s. 43).

Bu araştırma, Amasya Üniversitesi Sosyal Bilimler Etik Kurulu'ndan gerekli onay alınarak yürütülmüştür (Onay Tarihi: 10.11.2025 Onay No: 297248). Çalışma, etik ilkelere uygun olarak tasarlanmıştır. Katılımcılar araştırmanın amacı, süresi, yöntemi ve veri toplama süreci hakkında bilgilendirilmiş olup çalışmaya gönüllülük esasına göre katıldıkları ve istedikleri zaman çalışmadan çekilebilecekleri kendilerine açıkça ifade edilmiştir.

Veri toplama süreci gizlilikle yürütülmüştür. Katılımcıların verdiği yanıtlar yalnızca bu araştırmanın amacı doğrultusunda kullanılmıştır. Ayrıca yazarlar ve katılımcılar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

3.BULGULAR

Çalışmanın bulgular bölümünde katılımcıları tanımlayıcı değişkenlere ilişkin istatistiklere, ölçeklerden elde edilen ortalama puanlara ve araştırma hipotezlerinin test edildiği analizlere yer verilmiştir.

Çizelge 1. Katılımcıları Tanımlayıcı Değişkenlere ait İstatistikler

Değişkenler	**Gruplar**	**n**	**%**
Kuşak	X Kuşağı	73	20,2
	Y Kuşağı	247	68,4
	Z Kuşağı	41	11,4
Toplam		361	100
Cinsiyet	Kadın	253	70,1
	Erkek	108	29,9
Toplam		361	100
Medeni Durum	Evli	226	62,6
	Bekar	135	37,4
Toplam		361	100
Çocuk Sayısı	0	174	48,2
	1	64	17,7
	2	91	25,2
	3 ve Üzeri	32	8,9
Toplam		361	100
Eğitim Düzeyi	Lise-Ön Lisans	70	19,4
	Lisans	213	59
	Yükseköğrenim	78	21,6
Toplam		361	100
Mesleki Deneyim Süresi	0-5 Yıl	132	36,6
	6-10 Yıl	74	20,5

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	11-15 Yıl	39	10,8
	16-20 Yıl	39	10,8
	21 Yıl ve Üzeri	77	21,3
Toplam		361	100

Çizelge 1'de araştırmaya katılan sağlık çalışanlarına ait demografik değişkenler ve bu değişkenlerin dağılımları yer almaktadır. Katılımcıların yaşı X, Y ve Z kuşağında yer alma durumuna göre gruplandırılmış olup %68,4'ü Y kuşağında yer almaktadır. Cinsiyet değişkenine göre katılımcıların çoğunluğunu (%70,1) kadınların oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca katılımcıların %62,2'si evlidir ve %48,2'si çocuk sahibi değildir.

Çizelge 2. Katılımcıların Duygusal Bulaşma ve Merhamet Düzeyi

Ölçekler ve Ölçek Alt Boyutları	**n**	**Ortalama**	**Std. Sapma**
Duygusal Bulaşma Düzeyi	361	2,86	0,41625
Merhamet Düzeyi	361	3,94	0,50066
Sevecenlik Düzeyi	361	3,95	0,77209
Umursamazlık Düzeyi *	361	2,07	0,68254
Paylaşımların Bilincinde Olma Düzeyi	361	3,83	0,79065
Bağlantısızlık Düzeyi *	361	1,99	0,63229
Bilinçli Farkındalık Düzeyi	361	3,85	0,73237
İlişki Kesme Düzeyi*	361	1,94	0,63942

*Ölçek önermeleri olumsuzdur.

Araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhamet düzeyinin değerlendirilmesinde ölçek önermelerine verilen yanıtların ortalamaları kullanılmıştır. Elde edilen bulgulara göre katılımcıların duygusal bulaşma (Duygusal Bulaşma Ölçeği$_{Ort.}$=2,86) ve merhamet (Merhamet Ölçeği$_{Ort.}$=3,94) düzeyleri yüksektir. Merhamet Ölçeği alt boyutları olan sevecenlik, paylaşımların bilincinde olma ve bilinçli farkındalık düzeylerine ait ortalama değerleri de 3,25'ten yüksek bulunmuştur. Elde edilen puanlar doğrultusunda katılımcıların sevecenlik, paylaşımlarının bilincinde olma ve bilinçli farkındalık düzeylerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir (Sevecenlik$_{Ort.}$=3,95; Paylaşımların Bilincinde Olma$_{Ort.}$=3,83; Bilinçli Farkındalık$_{Ort}$=3,85). Merhamet Ölçeğinin ters önermeler içeren umursamazlık, bağlantısızlık ve ilişki kesme düzeyleri ise düşük bulunmuştur (Umursamazlık$_{Ort.}$=2,07; Bağlantısızlık$_{Ort.}$=1,99; İlişki Kesme$_{Ort.}$=1,94).

3.1.Araştırma Hipotezlerine İlişkin Mann-Whitney U Testi Bulguları

Araştırmanın bu kısmında iki gruptan oluşan demografik değişkenlere göre katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinde anlamlı bir farklılık olup olmadığını belirlemeye yönelik analizlere yer verilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 3. Katılımcıların Duygusal Bulaşma ve Merhamet Düzeylerinin Cinsiyete ve Medeni Duruma Göre Farklılaşma Durumu

Değişkenler		Gruplar	n	Sıralama Ort.	Mann-Whitney U Değeri	p
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Cinsiyet	Kadın	253	196,28	9796,00	**0,001**
		Erkek	108	145,20		
Merhamet Düzeyi	Cinsiyet	Kadın	253	190,91	11154,00	**0,006**
		Erkek	108	157,78		
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Medeni Durum	Evli	226	190,00	13221,00	**0,034**
		Bekar	135	165,93		
Merhamet Düzeyi	Medeni Durum	Kadın	226	184,20	14531,50	0,451
		Erkek	135	175,64		

Çizelge 3'te araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının cinsiyet ve medeni durum değişkenine göre duygusal bulaşma ve merhamet düzeyleri arasında anlamlı bir fark olup olmadığı Mann-Whitney U Testi yapılarak belirlenmiştir. Yapılan analizde katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeyinin cinsiyete göre farklılaştığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Grupların sıralı ortalama değerleri dikkate alındığında kadın katılımcıların hem duygusal bulaşma (Sıralama $Ort._{Kadın}=196,28>$ Sıralama $Ort._{Erkek}=145,20$) hem de merhamet düzeylerinin (Sıralama $Ort._{Kadın}=190,91>$ Sıralama $Ort._{Erkek}=157,78$) erkek katılımcılardan daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Katılımcıların medeni durumlarına göre ise sadece duygusal bulaşma düzeyinde anlamlı bir fark olduğu ($p<0,05$) ve evli katılımcılarda duygusal bulaşma düzeyinin daha yüksek olduğu anlaşılmıştır (Sıralama $Ort._{Evli}=190,00>$ Sıralama $Ort._{Erkek}=165,93$).

3.2.Araştırma Hipotezlerine İlişkin Kruskal Wallis Testi Bulguları

Araştırmanın amacı doğrultusunda ikiden fazla gruptan oluşan demografik değişkenlere göre katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinde bir fark olup olmadığının belirlenmesinde Kruskal Wallis Testi yapılmıştır. Çalışmanın bu kısmında Kruskal Wallis Testine ilişkin bulgulara yer verilmiştir.

Çizelge 4. Katılımcıların Duygusal Bulaşma ve Merhamet Düzeylerinin Kuşak, Çocuk Sayısı, Eğitim Düzeyi ve Deneyim Süresine Göre Farklılaşma Durumu

Değişkenler		Gruplar	n	Sıralama Ort.	X	df	p
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Kuşak	X Kuşağı	73	169,55	1,294	2	0,524
		Y Kuşağı	247	184,99			
		Z Kuşağı	41	177,32			
	Kuşak	X Kuşağı	73	187,72	10,139	2	**0,006**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Merhamet Düzeyi		Y Kuşağı	247	171,47			
		Z Kuşağı	41	226,43			
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Çocuk Sayısı	0	174	174,66	1,284	3	0,733
		1	64	187,59			
		2	91	187,59			
		3 ve Üzeri	32	183,56			
Merhamet Düzeyi	Çocuk Sayısı	0	174	174,92	2,474	3	0,480
		1	64	175,2			
		2	91	194,84			
		3 ve Üzeri	32	186,33			
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Eğitim Düzeyi	Lise-Ön Lisans	70	167,38	1,9	2	0,387
		Lisans	213	181,89			
		Yükseköğrenim	78	190,79			
Merhamet Düzeyi	Eğitim Düzeyi	Lise-Ön Lisans	70	178,42	0,843	2	0,656
		Lisans	213	178,33			
		Yükseköğrenim	78	190,6			
Duygusal Bulaşma Düzeyi	Deneyim Süresi	0-5 Yıl	132	174,09	2,584	4	0,630
		6-10 Yıl	74	188,86			
		11-15 Yıl	39	171,42			
		16-20 Yıl	39	199,67			
		21 Yıl ve Üzeri	77	180,69			
Merhamet Düzeyi	Deneyim Süresi	0-5 Yıl	132	188,72	9,161	4	0,057
		6-10 Yıl	74	150,98			
		11-15 Yıl	39	171,88			
		16-20 Yıl	39	190,37			
		21 Yıl ve Üzeri	77	196,48			

Katılımcıların kuşak, sahip olunan çocuk sayısı, eğitim düzeyi ve deneyim süresi değişkenlerinin grupları arasında duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinin farklılaşıp farklılaşmadığının belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen Kruskal Wallis Testi bulguları Çizelge 4'te yer almaktadır. Analiz bulgularında sadece merhamet düzeyinin katılımcıların yer aldıkları kuşağa göre farklılaştığı tespit edilmiştir ($p<0,05$). Kuşak değişkenine ait grupların sıralı ortalama değerleri dikkate alındığında ise Z kuşağının merhamet düzeyinin diğer kuşaklardaki katılımcılara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Sıralama $Ort._{Z\ Kuşağı}$=226,43).

3.3.Spearman Korelasyon Analizi Bulguları

Araştırma kapsamında katılımcıların duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığı test edilmiştir. Çizelge 5'te bu analiz bulguları yer almaktadır.

Çizelge 5. Katılımcıların Duygusal Bulaşma Düzeyi ile Merhamet Düzeyi Arasındaki İlişki

Değişkenler	n	Ortalama	Std. Sapma	Korelasyon Katsayısı	p
Duygusal Bulaşma Düzeyi	361	2,8582	0,41625	0,354	0,001
Merhamet Düzeyi	361	3,9396	0,50066		

Araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyi ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkinin belirlenmesinde Spearman Korelasyon Analizi yapılmıştır. Çizelge 5'te yer alan sonuçlar iki değişken arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişkinin olduğunu göstermektedir ($p<0,01$; Korelasyon Katsayısı Değeri=0,354). Yapılan analiz sonucunda katılımcıların duygusal bulaşma düzeyi arttıkça merhamet düzeylerinin de arttığı belirlenmiştir.

4.TARTIŞMA

Sağlık kurumları genel olarak hasta ve hasta yakınlarının stres, korku, acı gibi olumsuz duyguları deneyimlerken başvurdukları yerlerdir. Bu olumsuz duyguların giderilmesi ya da hafifletilmesi sağlık çalışanlarının da desteğini gerektiren bir durumdur (Dalgalı ve Gürses, 2018, s. 191). Merhamet başkalarının refahını artırma, davranışa açıkça atıfta bulunmadan zihni merhametli davranışlarda bulunmaya hazırlama ve başkalarının acısını fark ederek hafifletme isteğidir (Jazaieri ve diğerleri, 2016, s. 37). Merhametin hem merhamet gösterene hem de gösterilene pek çok faydası vardır. Özellikle hasta ve hasta yakınlarının merhametle tedavi ve bakım hizmeti alması iyileşme sürecini hızlandırırken memnuniyeti de artırmaktadır (Jazaieri ve diğerleri, 2014, s. 23). Merhametli bir sağlık hizmeti için öncelikle acının fark edilmesi, acı çekene empati, sempati ve ilgi duyulması gerekmektedir (Strauss ve diğerleri, 2016, s. 25). Bu bağlamda başkalarının duygularının fark edilmesi, bu duyguların taklit edilmesi ve bu duyguların yansıtılmasını ifade eden duygusal bulaşma ile merhametin ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca duygusal bulaşma da bireysel ve örgütsel sonuçlarla ilişkilidir (Demirkaya ve Sönmez, 2020, s. 803). Bu bağlamda bu araştırma ile sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyiyle merhamet düzeyi arasındaki ilişkinin belirlenmesi ve demografik değişkenlere göre duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinin farklılaşma durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır. Araştırma bulguları doğrultusunda yöneticilere, çalışanlara ve araştırmacılara öneriler sunulması hedeflenmiştir.

Araştırma sonucunda araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar katılımcıların hastaların duygusal durumlarını zihinsel olarak algılamakla birlikte bu duyguları içselleştirdiklerini ve hastaların acısını dindirmeye yönelik motivasyonlarının da yüksek olduğunu göstermektedir. Alan yazında sağlık sektöründeki farklı meslek üyelerinin duygusal bulaşma ve merhamet düzeyleri belirlenmiştir. Limon (2019, s. 238) tıbbi sekreterlerden oluşan bir örneklem grubu ile yürüttüğü araştırmada katılımcıların duygusal bulaşma düzeylerinin yüksek olduğunu

bulmuştur. Demirkaya ve Sönmez (2020, s. 810) bir kamu hastanesindeki 508 hemşirenin katılımıyla yürüttükleri araştırmada hemşirelerin duygusal bulaşma düzeylerinin orta düzeyde olduğunu tespit etmiştir. Koroglu ve Öksüt (2024) tarafından yürütülen araştırmada yoğun bakım biriminde hemşire olarak görev yapan katılımcıların duygusal bulaşma düzeyleri yüksek olarak bulunmuştur. Arlı ve Bakan (2018, s. 281) tarafından bir devlet üniversitesinden 102 hemşirelerinin katılımcı olduğu araştırmanın sonucunda da hemşirelerin merhamet düzeylerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Çingöl ve diğerlerinin (2018, s. 63) araştırmasında da aynı sonuç elde edilmiştir. Yüksekol ve diğerleri (2020, s. 573) tarafından yürütülen araştırmada ebelik bölümü öğrencilerinin merhamet düzeyleri değerlendirilmiştir ve araştırmanın sonucunda katılımcıların merhamet düzeyinin yüksek olduğu saptanmıştır. Aslan Doğan, Oltuluoğlu ve Özkan (2023, s. 200) tarafından yürütülen araştırmada ise araştırmaya katılan hemşirelerin merhamet düzeylerinin orta düzeyde olduğunu belirlemişlerdir. Alan yazında yer alan araştırma sonuçları ile bu araştırmanın sonuçlarının benzer olduğu anlaşılmaktadır. Bu bağlamda sağlık çalışanlarının genel olarak hastaların duygu durumlarından ve acılarından etkilendikleri, bu acıyı içselleştirdikleri, hastaya merhametle yaklaştıkları, hastaların acılarına duyarsız olmadıkları ve hastaların acılarını dindirme motivasyonu ile hareket ettikleri ifade edilebilir.

Araştırma kapsamında katılımcıların Merhamet Ölçeği alt boyutlarından olan sevecenlik, paylaşımların bilincinde olma ve bilinçli farkındalık düzeylerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer taraftan umursamazlık, bağlantısızlık ve ilişki kesme düzeylerinin ise düşük olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar katılımcıların hastalara karşı duyarlı ve yardımsever tutumlarını korudukları yönünde değerlendirilebilir. Olumsuz boyutlara ait puanların düşük olması hastaların acılarının görmezden gelinmediği, hastaların deneyimlediği acının farkında olunduğu, hastaların acılarının insani bir durum olarak değerlendirildiği ve bu doğrultuda hareket edildiği şeklinde yorumlanabilir. Konu ile ilgili Çınar ve Aslan (2018, s. 225) ameliyathane hemşirelerinin merhamet düzeylerini belirlediği araştırmada katılımcıların sevecenlik, paylaşımların bilincinde olma ve bilinçli farkındalık düzeylerini yüksek, umursamazlık düzeylerini düşük, bağlantısızlık ve ilişik kesme düzeylerini ise orta olarak bulmuştur. Çingöl ve diğerlerinin (2018, s. 63) yürütmüş olduğu araştırmada ise katılımcıların sevecenlik düzeyi çok yüksek, paylaşımların bilincinde olma ve bilinçli farkındalık düzeyleri yüksek, bağlantısızlık düzeyi düşük, umursamazlık ve ilişik kesme düzeyleri ise çok düşük olarak bulunmuştur. Konu ile ilgili yürütülen alan yazındaki araştırmalar ve bu araştırmanın sonuçları sağlık çalışanlarının merhametli olmaya yönelik olumlu önermelerden oluşan boyutlara katılımının daha yüksek, olumsuz önermelere katılımının ise daha düşük olduğunu göstermektedir. Buna göre alan yazında yer alan araştırmaların sonuçları ile bu araştırmanın sonuçlarının aynı doğrultuda olduğu ifade edilebilir.

Araştırmada demografik değişkenlere göre katılımcıların duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinde bir farklılaşma olup olmadığı incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhamet düzeyinin cinsiyete göre değiştiği ve kadın katılımcıların hem duygusal bulaşma hem de merhamet düzeylerinin erkek katılımcılardan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Katılımcıların medeni durumlarına göre ise sadece duygusal bulaşma düzeyinde anlamlı bir fark olduğu, evli katılımcıların duygusal bulaşma düzeyinin bekar katılımcılardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Katılımcıların sahip olunan çocuk sayısı, eğitim düzeyi ve deneyim süresine göre duygusal bulaşma ve merhamet düzeyleri farklılaşmazken X, Y ve Z kuşağında yer alan katılımcı gruplarından Z kuşağındakilerin merhamet düzeyinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Araştırma kapsamında Z kuşağında merhamet düzeyinin diğer kuşaklara göre daha yüksek çıkması, Z kuşağının kişilik özellikleriyle ilgili olabileceği gibi hastaların acılarına sürekli maruz kalmaya bağlı gelişebilecek duyarsızlaşma durumunun henüz bu kuşakta görülmediği ya da diğer kuşaklara göre daha az görüldüğü şeklinde değerlendirilebilir.

Sağlık çalışanlarının merhamet düzeyinin demografik değişkenlere göre farklılaşma durumunun değerlendirildiği araştırmalar incelendiğinde araştırma sonuçlarının farklılaştığı ve benzeştiği durumların olduğu görülmüştür. Bu araştırmalardan Salazar (2016, s. 7) tarafından öğrencilerle yürütülen araştırmada kadınların merhamet düzeyi erkeklerin merhamet düzeyinden daha yüksek bulunmuştur. Hacıkeleşoğlu ve Kartopu'nun (2017, s. 225) araştırmasında farklı fakültelerde öğrenim gören öğrencilerden kadınların merhamet düzeylerinin erkeklere göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çingöl ve diğerleri (2018, s. 63) tarafından hemşirelik bölümü öğrencilerinin merhamet düzeyinin belirlendiği araştırmada cinsiyet değişkenine göre katılımcıların merhamet düzeyinin farklı olduğu ve kadınların merhamet düzeyinin erkeklerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Alan yazında yer alan araştırmaların ve bu araştırmanın sonuçları cinsiyet değişkenine göre merhamet düzeyinin benzer olduğunu göstermektedir. Bu sonuçların elde edilmesinde kadınlara ait cinsiyet özelliklerinin (toplumsal rol, hormonlar, davranış beklentileri vb.) etkili olmuş olabileceği söylenilebilir. Yüksekol ve diğerleri (2020, s. 573) ebelik bölümü öğrencilerinin merhamet düzeylerini incelemişlerdir. Bu araştırmanın sonucunda öğrencilerin çocuk sahibi olma durumlarına göre merhamet ölçeği puan ortalamaları arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Aslan Doğan, Oltuluoğlu ve Özkan (2023, s. 200) tarafından bir üniversite hastanesinin karaciğer nakli enstitüsünün yoğun bakım ünitelerinde görev yapan, kadın ve çocuğu olan hemşirelerin merhamet düzeylerinin daha yüksek olduğu; eğitim düzeyine, medeni duruma ve deneyim süresine göre ise katılımcıların merhamet düzeylerinin farklılaşmadığı bulmuştur. İnce ve Yılmaz (2024, s. 206) tarafından ebelerle yürütülen araştırmada da benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu araştırmanın sonuçları ile Yüksekol ve diğerlerinin araştırma sonuçları çocuk sahibi olma durumuna göre benzerken diğer araştırmalarla farklılaştığı anlaşılmaktadır. Bu farklığın temel nedeni örneklem gruplarının farklı olmasıyla ilgili olabilir. Diğer taraftan alan yazındaki araştırma sonuçları ve bu araştırmanın sonuçları eğitim düzeyi, medeni durum ve deneyim süresine göre sağlık çalışanlarının merhamet düzeylerinin farklılaşmadığını göstermektedir. Bu durum sunulan hizmetin merhametli olmayı gerektirmesi, hastaların her zaman merhametli bir hizmete ihtiyaç duymaları ve gösterilen merhametin sağlık çalışanlarına da faydasının olması nedeniyle eğitim düzeyine, medeni duruma ve deneyim süresine bağlı olmaksızın merhametli olmalarından kaynaklanıyor olabilir.

Alan yazında sağlık çalışanlarının demografik değişkenlere göre duygusal bulaşma düzeyinde bir fark olup olmadığını belirlemeye yönelik çalışmaların sınırlı olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte konu ile ilgili Limon (2019, s. 238) tarafından yürütülen araştırmanın sonucunda tıbbi sekreterlerin duygusal bulaşma düzeylerinin kadınlarda daha yüksek olduğu, yaş ve medeni duruma göre ise anlamlı bir fark olmadığı belirlenmiştir. Demirkaya ve Sönmez (2020, s. 810-

811) tarafından bir kamu hastanesindeki 508 hemşireden evli olanların duygusal bulaşma düzeylerinin, bekâr hemşirelere göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca lisansüstü eğitim mezunu hemşirelerin duygusal bulaşma düzeylerinin lisans mezunu hemşirelerden anlamlı olarak daha yüksek olduğu tespit edilirken meslekte çalışma süresine göre duygusal bulaşma düzeylerinin farklılaşmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar sağlık çalışanlarından elde edilen verilere göre duygusal bulaşma düzeylerinin bazı demografik değişkenlere göre farklılaştığını ortaya koymaktadır.

Araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyi ile merhamet düzeyleri arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişki olduğu; katılımcıların duygusal bulaşma düzeyi arttıkça merhamet düzeylerinin de arttığı tespit edilmiştir. Araştırma kapsamında elde edilen bu sonuca göre katılımcıların hastaların duygu durumlarına ilişkin empatik ve sempatik bir yaklaşım sergilemelerine bağlı olarak hastaların ağrı ve acılarını azaltmaya yönelikte daha fazla istek duydukları ve harekete geçmeye yöneldikleri ifade edilebilir. Alan yazında iki değişkenin birlikte değerlendirildiği bir çalışmaya rastlanılamaması nedeniyle bu sonuçlara yönelik değerlendirme yapılamamıştır.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhamet düzeylerinin belirlenmesi, bu değişkenlerin demografik değişkenlere göre farklılaşma durumunun ortaya konulması ve duygusal bulaşma düzeyleri ile merhamet düzeyleri arasındaki ilişkinin tespit edilmesi amacıyla yürütülen bu araştırmanın sonucunda katılımcıların hem duygusal bulaşma hem de merhamet düzeylerinin yüksek olduğu saptanmıştır. Ayrıca Merhamet Ölçeğinin olumlu önermelerden oluşan alt boyutlara (sevecenlik, paylaşımların bilincinde olma ve bilinçli farkındalık) ait ortalama puanlarının yüksek, olumsuz önermelerden oluşan alt boyutlara (umursamazlık, bağlantısızlık ve ilişki kesme) ait ortalama puanlarının ise düşük olduğu belirlenmiştir. Araştırmanın amacı doğrultusunda test edilen hipotezlerin tamamı (H_1, H_2, H_3) kabul edilmiştir. Buna göre kadın katılımcıların hem merhamet hem de duygusal bulaşma düzeyi erkek katılımcılardan yüksek bulunmuştur. Kuşaklara göre Z kuşağında yer alan katılımcıların merhamet düzeyinin diğer kuşaklardaki katılımcılardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca evli katılımcıların duygusal bulaşma düzeylerinin bekar katılımcılara göre daha yüksek olduğu ancak medeni duruma göre merhamet düzeyinin farklılaşmadığı saptanmıştır. Bu araştırmaya katılan sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyi ile merhamet düzeyi arasında ise pozitif yönlü zayıf bir ilişkinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırma sonuçları doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

Sağlık kurumu yöneticilerine; acı duyan hastaların duygusal yüklerinin artmasına bağlı sağlık çalışanlarında gelişebilecek duygusal ve psikolojik risklere karşı önlem almaları önerilir. Özellikle kadın çalışanların bu risklere daha açık oldukları söylenilebilir. Bu bağlamda kadın çalışanların desteklenmesi ve duygu yönetimi ile ilgili eğitim verilmesi faydalı olabilir. Ayrıca Z kuşağında yer alan katılımcıların merhamet düzeyinin diğer kuşaklardaki katılımcılardan daha yüksek olmasının nedenleri sağlık kurumu yöneticileri ve araştırmacılar tarafından incelenebilir. Sağlık kurumu yöneticilerinin personel görevlendirmelerinde Z kuşağındaki çalışanlarla X ve Y kuşağındaki çalışanları birbirlerine destek olacak şekilde görevlendirmeleri tavsiye edilebilir. Böylelikle Z kuşağındaki sağlık çalışanlarının duygusal yüklere karşı

korunması, X ve Y kuşağındaki sağlık çalışanlarının deneyimlerinden faydalanması sağlanılabilir. Yine personel görevlendirmelerinde işe yeni başlayan Z kuşağı çalışanlarının görev yerlerini duygusal yüklerin daha az olduğu birimlere göre belirlemelerinin bu kuşaktaki sağlık çalışanlarının duygusal ve ruhsal durumlarının korunmasına etki edebileceği söylenilebilir. Merhametli bakımın hem hastalara hem de sağlık çalışanlarına faydaları düşünüldüğünde merhametli bakımın desteklenmesi ve teşvik edilmesine yönelik olarak merhametli bakım sunan sağlık çalışanları ödüllendirilebilir. Araştırma sonuçlarına göre katılımcılar çevrelerindeki duyguları ne kadar otomatik olarak algılayıp taklit ediyorsa, merhamet gösterme eğilimleri de o kadar artmaktadır. Bu bulgu, duygusal bulaşmanın merhametin ortaya çıkmasında rolü olduğunu göstermektedir. Bu merhamet gösterme eğiliminin sağlıklı bir şekilde devam ettirilebilmesi için sağlık kurumu yöneticileri tarafından çalışanların olumsuz duygularla baş etme ve duygularını düzenleme becerilerinin desteklenmesine yönelik stratejiler geliştirmeleri önerilir.

Sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma ve merhametli bakıma bağlı deneyimleyebilecekleri olumsuzluklardan kendilerini korumaları için iş dışında kendilerine zaman ayırmaları ve hobiler edinmeleri önerilebilir. Hastanın acılarından yoğun etkilenme durumlarında bakıma ara vermeleri ya da hastanın bakımını yapacak personelin değiştirilmesi faydalı olabilir. Ayrıca yaşanılan sorunlar yöneticilerle paylaşılarak bu sorunların nasıl çözülebileceğine ilişkin birlikte kararlar alınabilir. Sağlık çalışanının hangi profildeki hastaların kendilerini daha fazla etkilediğinin farkına varmaları ve bununla nasıl baş edebileceklerinin belirlenmesi sürecin yönetimini kolaylaştırabilir.

Bu araştırma sonuçları 361 katılımcının görüşleri doğrultusunda elde edilmiştir. Araştırmacılar tarafından daha geniş örneklemli çalışmalar yapılmasının literatüre katkı sağlayacağı söylenilebilir. Ayrıca sağlık çalışanlarının duygusal bulaşma düzeyiyle ilgili araştırmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu bağlamda araştırmacılar tarafından konu ile ilgili daha fazla araştırma yapılarak bu alanın geliştirilmesine destek sağlamaları önerilir. Bu araştırma kesitsel türde nicel bir araştırmadır. Araştırmacılar tarafından duygusal bulaşmanın ve merhametin sağlık çalışanları üzerindeki uzun süreli etkileri ve bu etkilerin zamanla değişimi boylamsal çalışmalar yapılarak ortaya konulabilir. Yine araştırmacılar tarafından daha derinlemesine ve keşfedici özellikte nitel araştırmalar yürütülerek duygusal bulaşma ve merhamet kavramları ile ilişkili faktörler tespit edilebilir.

KAYNAKÇA

1. Akdeniz, S., & Deniz, M. E. (2016). Merhamet ölçeğinin Türkçeye uyarlanması: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *The Journal of Happiness & Well-Being, 4*(1), 50-61.

2. Akın, A. Uysal, R., & Akın, Ü. (2015). Duygusal bulaşma ölçeğinin Türkçe formunun geçerlik ve güvenirliği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 3*(2), 97-104.

3. Almadani, A. H., Alenezi, S., Algazlan, M. S., Alrabiah, E. S., Alharbi, R. A., Alkhamis, A. S., & Temsah, M. H. (2023). Prevalence and predictive factors of compassion fatigue among healthcare workers in Saudi Arabia: Implications for well-being and support. *Healthcare, 11*(15), 1-14. https://doi.org/10.3390/healthcare11152136

4. Alpar, R. (2021). *Çok değişkenli istatistiksel yöntemler.* Ankara: Detay Yayıncılık.

5. Arlı, Ş. K., & Bakan, A. B. (2018). Cerrahi hemşirelerde merhamet ve kültürlerarası duyarlılığı etkileyen faktörler. *STED, 27*(4), 277-283.

6. Armutcu, B. ve Tan, A. (2023). Seçmenlerin siyasal davranışları üzerinde etkili olan faktörler: X-Y-Z kuşakları üzerine bir araştırma. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 13*(1), 20-40.

7. Aslan Doğan, B., Oltuluoğlu, H., & Özkan, M. (2023). Organ nakli hemşirelerinin merhamet düzeyleri ile hemşirelik mesleğine yönelik tutumları arasındaki ilişki. *Artuklu International Journal of Health Sciences, 3*(2), 196-202.

8. Barsade, S. G. (2002). The ripple effect: Emotional contagion and its influence on group behavior. *Administrative Science Quarterly, 47*(4), 644-675. https://doi.org/10.2307/3094912

9. Bora Başara, B., Aygün, A., Özdemir, T. A., Kulali, B., Soytutan Çağlar, İ., Kara, S., …& Yentür, G. K. (2023). *T.C. Sağlık Bakanlığı sağlık istatistikleri yıllığı 2023.* Ankara: Sağlık Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü.

10. Cocker, F., & Joss, N. (2016). Compassion fatigue among healthcare, emergency and community service workers: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 13*(6), 618. https://doi.org/10.3390/ijerph13060618

11. Çakmak, R., Acar, Z., Akkaya, S., & Özcan, M. (2025). Sağlık hizmetleri meslek yüksekokulu öğrencilerinin merhamet düzeyleriyle yaşlı ayrımcılığına yönelik tutumları arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. *Toplum ve Sosyal Hizmet, 36*(1), 41-61.

12. Çınar, F., & Aslan, F. E. (2018). Ameliyathane hemşirelerinin merhamet düzeylerinin ölçülmesi: Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Kocaeli Tıp Dergisi, 7*(3), 222-229.

13. Dalgalı, B., & Gürses, İ. (2018). Merhametin sağlık hizmetlerindeki yeri ve önemi. *Sinop Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2*(1), 181-204.

14. Demirkaya, F., & Sönmez, B. (2020). Bir kamu hastanesinde çalışan hemşirelerin duygusal bulaşma düzeylerinin belirlenmesi. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 8*(3), 802-813.

15. Dikmen, Y., & Aydın, Y. (2016). Hemşirelerde merhamet yorgunluğu: Ne?, Nasıl?, Ne yapmalı?. *Journal of Human Rhythm, 2*(1), 13-21.

16. Dinç, S., & Ekinci, M. (2019). Merhamet yorgunluğu kısa ölçeğinin Türkçe'ye uyarlanması. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar, 11*(1), 192-202. https://doi.org/10.18863/pgy.590616

17. Doğu, K., & Demirsoy, N. (2020). Hemşirelikte merhamet ve merhamet yorgunluğu: Kavram analizi. *Türkiye Klinikleri Tıp Etiği-Hukuku-Tarihi Dergisi, 28*(3), 463-473.

18. Doherty, R. W. (1997). The emotional contagion scale: A measure of individual differences. *Journal of Nonverbal Behavior, 21*(2), 131-154.

19. Erdem, Ö., & Uyaroğlu, A. K. (2021). Hemodiyaliz hemşirelerinde merhamet düzeyi ve ilişkili faktörler. *Online Turkish Journal of Health Sciences, 6*(2), 207-215.

20. Ersoy, E. G., & Köşger, F. (2016). Empati: Tanımı ve önemi. *Osmangazi Tıp Dergisi, 38,* 9-17. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/268016

21. Evli, M. (2023). Compassion fatigue, empathy, and emotional contagion in nursing students. *Journal of Education and Research in Nursing, 20*(2), 105-110. https://doi.org/10.14744/jern.2021.833127

22. Feng, Y., & Cui, J. (2024). Emotional exhaustion and emotional contagion: Navigating turnover intention of healthcare personnel. *Journal of Multidisciplinary Healthcare, 17*, 1731–1742. https://doi.org/10.2147/JMDH.S460088

23. Figley, C.R. (1995). *Compassion fatigue: Coping with secondary traumatic stress disorder ın those who treat the traumatized (1st ed.).* Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203777381

24. Gilbert, P. (2014). The origins and nature of compassion focused therapy. *The British Psychological Society, 53*(1), 6-41. doi: 10.1111/bjc.12043

25. Goetz, J. L., Keltner, D., & Simon-Thomas, E. (2010). Compassion: an evolutionary analysis and empirical review. *Psychological Bulletin, 136*(3), 351-374. doi: 10.1037/a0018807

26. Gürbüz, S., & Şahin, F. (2018). *Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri* (5. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.

27. Hacıkeleşoğlu, H., & Kartopu, S. (2017). Merhamet ve dindarlık: Üniversite öğrencileri üzerine ampirik bir araştırma. *The Journal of Academic Social Science Studies, 59*, 203-227.

28. Hastaoğlu, F., Bulut, Y., & Mollaoğlu, M. (2023). Sorumlu hemşirelerin hasta merkezli bakim yetkinliklerinin belirlenmesi. *Sağlık Profesyonelleri Araştırma Dergisi*, *5*(2), 96-102.

29. Hatfield, E., Cacioppo, J. T., & Rapson, R. L. (1992). *Pirimitive emotional contagion.* In M. S. Clark (Ed.), Emotion and social behavior (pp. 151–177). Sage Publications, Inc. http://www.elainehatfield.com/ch46.pdf

30. Hatfield, E., Cacioppo, J. T., & Rapson, R. L. (1993). Emotional contagion. *Current Directions in Psychological Science, 2*(3), 96-99. https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10770953

31. İnce, B., & Yılmaz, S. (2024). Ebelerin aidiyet, merhamet ve tükenmişlik düzeylerinin belirlenmesi. *Selçuk Sağlık Dergisi*, *5*(2), 199-217.

32. Jazaieri, H., Jinpa, T., McGonigal, K., Rosenberg, E. L., Finkelstein, J., Simon-Thomas, E., Goldin, P. R. (2013). Enhancing compassion: A randomized controlled trial of a compassion cultivation trainingprogram. *Journal of Happiness Studies, 14*, 1113-1126. doi:10.1007/s10902-012-9373-z

33. Jazaieri, H., Lee, I. A., McGonigal, K., Jinpa, T., Doty, J. R., Gross, J. J., & Goldin, P. R. (2016). A wandering mind is a less caring mind: Daily experience sampling during compassion meditation training. *The Journal of Positive Psychology, 11*(1), 37–50.

34. Jazaieri, H., McGonigal, K., Jinpa, T., Doty, J. R., Gross, J. J., & Goldin, P. R. (2014). A randomized controlled trial of compassion cultivation training: Effects on mindfulness, affect, and emotion regulation. *Motivation and Emotion, 38*(1), 23–35.

35. Joinson, C. (1992). Coping with compassion fatigue. *Nursing, 22*(4), 116-121.

36. Karakaş, M., Çelebi, E., Çingöl, N., & Zengin, S. (2022). Türkiye'de hemşirelik alanında merhamet konusuna yönelik yapılan lisansüstü tezlerin incelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 11*(2), 784-793.

37. Kirby, J. N. (2017). Compassion interventions: The programmes, the evidence, and implications for research and practice. *The British Psychological Society, 90*(3), 432-455.

38. Korucu, A. E., Çekiç, Y., & Şahan, F. U. (2021). Hemşirelik öğrencilerinin empatik eğilimleri ve bireyselleştirilmiş bakım algıları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi, 14*(4), 370-378.

39. Köroğlu, S., & Öksüz, E. (2024). How emotional contagion shapes spiritual care competence: Insights from a cross-sectional study on intensive care nurses. *Nursing in Critical Care, 29*(6), 1394–1404. https://doi.org/10.1111/nicc.13160

40. Limon, S. (2019). Sağlık kuruluşlarında duygusal bulaşma ve iş motivasyonu: Tıbbi sekreterler üzerinde bir uygulama. *Bucak İşletme Fakültesi Dergisi, 2*(2), 224-241.

41. Marshman, C., Hansen, A., & Munro, I. (2021). Compassion fatigue in mental health nurses: A systematic review. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 29*(4), 529-543. https://doi.org/10.1111/jpm.12812

42. Maslach, C., & Leiter, M. P. (1997). *The truth about burnout: How organizations cause personal stress and what to do about it.* San Francisco: Jossey-Bass.

43. Mercan, N. (2016). X, Y ve Z kuşağı kadınların farklı tüketim alışkanlarının modern dünyada inşa edilmesi. *KADEM Kadın Araştırmaları Dergisi, 2*(1), 59-70.

44. Moudatsou, M., Stavropoulou, A., Philalithis, A., & Koukouli, S. (2020). The role of empathy in health and social care professionals. *Healthcare, 8*(1), 26, 1-9. https://doi.org/10.3390/healthcare8010026

45. Ngai, S. S. Y., Cheung, C. K., Ng, Y. H., Guo, H. Y., Du, H. L., Chen, C., ... & Pang, W. T. (2025). Compassion Scale: Factor structure and scale validation in Hong Kong adolescents. *Frontiers in Psychology, 16*, 1-11.

46. Pommier, E. A. (2010). The Compassion Scale [Doctoral Dissertation, The University of Texas at Austin]. *ProQuest Dissertations & Theses Global*.

47. Pommier, E., Neff, K. D., & Tóth-Király, I. (2019). The development and validation of the compassion scale. *Assessment, 27*(1), 21-39. https://doi.org/10.1177/1073191119874108

48. Salazar, L. R. (2016). The relationship between compassion, interpersonal communication apprehension, narcissism and verbal aggressiveness. *The Journal of Happiness & Well-Being, 4*(1), 1-14.

49. Sinclair, S., Raffin-Bouchal, S., Venturato, L., Mijovic-Kondejewski, J., & Smith-MacDonald, L. (2017). Compassion fatigue: A meta-narrative review of the healthcare literature. *International Journal of Nursing Studies, 69*, 9-24. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2017.01.003

50. Strauss, C., Lever Taylor, B., Gu, J., Kuyken, W., Baer, R., Jones, F., & Cavanagh, K. (2016). What is compassion and how can we measure it? A review of definitions and measures. *Clinical Psychology Review, 47,* 15-27. doi: 10.1016/j.cpr.2016.05.004.

51. Yücel, B., & Akoğlu, B. (2023). Secondary traumatization in mental health workers. *Psikiyatride Güncel yaklaşımlar, 15*(1), 383-393. https://doi.org/10.18863/pgy.1327170

52. Yüksekol, Ö. D., Orhan, İ., Yıldız, E., & Yılmaz, A. N. (2020). Ebelik bölümü öğrencilerinin merhamet düzeylerinin belirlenmesi. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu Dergisi, 8*(3), 566-577.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE FEMALE GENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS

Prof.Dr.Ramazan İLGÜN
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy, Aksaray
rilgun2017@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0150-3008

Assoc.Prof.Caner ÖZTÜRK
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Reproduction and Artificial Insemination, Aksaray
canerozturkvt@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0566-0684

ABSTRACT

In biomedical and all kinds of experimental research, the sex of the laboratory animal constitutes the main purpose of determining the quality of the research and the effectiveness of the active substance to be applied and obtaining the expected data from the results of the experimental research. In animal experiments, the aim is to plan the study in a way that provides maximum information, respects the environment, and adheres to ethical rules, and creating control and experimental gender groups in the study significantly affects the results of the study. While evaluating the alternatives of experimental animals in the research, the availability for the most appropriate and easiest application is taken into consideration. In addition to providing appropriate environmental conditions for the mouse, rat or hamster selected as the experimental animal, the topography and macroanatomical structure of the anatomical organ on which the research will be conducted or the active substance will be applied differs according to gender. Similarly, in selecting laboratory animals, distinguishing features such as the distance between the anus and genitalia in mice are important factors in determining sex. Genital area color changes are changes that can be seen before mating and birth. Monitoring the time to sexual maturity, mating times, and gestation periods of laboratory animals contribute to successful results in breeding female laboratory animals. The anatomy of the female genital system consists of the ovaries, uterine tubes, uterus, vagina, and vulva.
In conclusion, our aim in this evaluation is to perform a comparative macroanatomical assessment of the differences in the female genital system of the laboratory animal mouse, rat, or hamster, which will be selected as female. This is intended to serve as a resource for future scientific studies.
Keywords: Laboratory animals, Uterus, Mouse, Rat.

INTRODUCTION

In scientific research, the selection of laboratory animals is crucial; they are the most suitable animals to be used in research and experiments where the hypothesis is formulated according to established rules. The most frequently used experimental animals in laboratories are mice, rats, and hamsters (2, 5, 6).

The anatomical distribution of the most frequently used laboratory animals in laboratory studies will be of great importance in determining the anatomical appearances and the quality of the studies and in obtaining the expected results. In our review study, the female genital system of the most frequently used animals, mice, rats, and hamsters, can be considered comparatively. First of all, the topographic anatomical structure of the female genital system in these experimental animals is one of the indirect ways to achieve good results. In experimental animals, body direction naming is primarily done by using different terms for axes and directions due to the difference in macroanatomical posture in experimental animals, while for domestic animals, the Veterinary Anatomical terminology Nomina Anatomica Veterinaria (NAV) is used. In direction naming, the terms cranialis or caudalis are used for the neck and trunk, while terms such as anterior, posterior, inferior, and superior used in human medicine are not used in experimental animals (1, 2).

In domestic mammals, the female reproductive organs consist of the ovary, which forms the egg, the fallopian tube (tuba uterinae), which carries the egg from the ovary to the uterus, and the uterus and vagina, where the egg is housed until it becomes a fetus. The female external reproductive organs consist of the vulva and clitoris (3).

In experimental operative procedures, the female genital system organs are topographically located in the regiones pelvis, and the bony skeleton of this region is formed by the sacrum and os coxae bones. Topographically, the uterus is located within the plica genitalis, which is one of the female genital structures (4). In the macroanatomical comparison of the female genital system, mice, the most used experimental animals, are rodents and members of the rat family. Their eyes are large and have a wide field of vision. They have long, hairless tails (2, 5). The female reproductive organs consist of the ovary, oviduct, uterus, and vagina, all located inside the body. In the female genital system, the uterus has a bifurcated structure with two cornu. The corpus uteri is smaller than the other parts of the uterus (2).

There are two types of mice: white and black. Their ears are large and pinkish in color. Their legs are short. Mice are very sensitive to ambient temperature. The gestation period averages 20 days, and an average of 12 pups can be obtained per year. The ovaries are located behind the kidneys. Signs of estrus are best understood from changes in the female genital system. These changes include opening and swelling in the vulva (5).

The estrus cycle lasts approximately 7 hours. In females who allow mating by the male, the appearance of a plug-like structure in the vagina is typical. Bloody discharge may be found in the vulva 13 days after mating (5). Another commonly used rodent species is the rat, one of the first species to be domesticated for scientific research. They are rodents belonging to the mouse family. Rats can be used for breeding purposes 90 days after birth. The gestation period is approximately 25 days (5). They are known as the most frequently used experimental animals in research centers worldwide. Their lifespan is 2.5 years, and it is reported that this period is longer in females. In rats, the female genital structure is topographically located with the right

ovary behind the right kidney at the level of the lumbar spine, and the left ovary behind the left kidney at the level between the lumbar and sacral vertebrae (2, 5, 7).
In the female rat genital system, the oviduct has a convoluted structure, and the uterus is reported to have a duplex structure. It is reported that rats do not have vaginal glands, and the urethra and vaginal opening are formed separately (2).
In the literature (2), it has been reported that the urinary system and the clitoris are in contact and that the clitoral glands are the counterparts of the preputial glands in males (2). It is reported that the fallopian tube is located within the mesosalpinal folds, making folds around the ovary, and that the uterus is of the duplex type, with a shallow appearance of the fornix vagina (5).
Hamsters are experimental animals used in rodent laboratory experiments. The gestation period is approximately 15-16 days. They can give birth to an average of 8 offspring in one litter. In hamsters, the female genital system has a voluminous appearance, and the cornu parts of the uterus can extend to the back of the kidneys. The ovaries are located towards the outside of the kidneys (5).

CONCLUSION

When comparing the macroanatomical aspects of the female genital system in experimental animals, significant differences are observed between species. These differences directly affect the design of research experiments, the findings, the interpretation of research results, and the comparability of findings with humans. In particular, the correct species selection in laboratory animals is critically important for controlling the estrus phase in different experimental animals and for the reliability of appropriate pharmacological and other research.
In this study, the anatomy of the female genital system of mice, rats, and hamsters, which are among the most used experimental animals, was evaluated. This study is important as it will serve as a resource for future research.

REFERENCES

1. Nomina Anatomica Veterinaria [NAV]. (2012*). International Comitte on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature.* General assembly of the World Association of Veterinary Anatomists. Fifth Edition Gent. Published by the Editorial Committee Hannover [Germany] Columbia. MO [U.S.A.] Ghent [Belgium]. Sapporo [Japan]. 2012..

2. Aksoy, A., Kolbakir, F., Hökelek, M., Gültiken, M. E., Kaya, M., Çenesiz, M., Güvenç, T. (2010). *Laboratuvar Hayvanları*, Aksoy A, Kolbakir F, Hökelek M, (Ed.)., (Gültiken, M.E., Deney Hayvanları Anatomisi Bölümü pp.1-36). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun.

3. Dursun, N. (1996). *Veteriner Anatomi II*. Medisan Yayınevi, pp.161-170., Ankara.

4. Dursun, N. (2001). *Veteriner Topografik Anatomi*. Medisan Yayınevi, pp.114-128., Ankara.

5. Yavru, N.& Yavru S. (2000). *Deney Hayvanları*. Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi yayın Ünitesi., pp.165-210., Konya.

6. Zutphen, Van L.F.M., Baumans V., and Beynen A.C. (2003). *Laboratuvar Hayvanları Biliminin* Temel İlkeleri, (Çeviri editörü; Tayfun İDE). Medipres yayıncılık, pp.19-70., Ankara.

7. Olds, R.J. & Olds, J.R. (1991). A colour Atlas of the Rat, Dissection Guide. ELBS, Wolfe publishing. Pp.9-89., London.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

COMPARATIVE MACROANATOMIC EVALUATIONS ON THE MALE UROGENITAL SYSTEM IN LABORATORY ANIMALS

Prof.Dr.Ramazan İLGÜN
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy, Aksaray
rilgun2017@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0150-3008

Assoc.Prof.Caner ÖZTÜRK
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Reproduction and Artificial Insemination, Aksaray
canerozturkvt@gmail.com-**ORCID ID:** 0000-0003-0566-0684

ABSTRACT

In scientific experimental research, determining the sex of laboratory animals is crucial for establishing experimental and control groups in the anatomical organs where the active pharmaceutical ingredient will act, to obtain the expected findings from the experimental research. When planning animal experiments, the primary objective of obtaining research results is to adhere to ethical principles, maintain environmental and experimental conditions consistently, and create appropriate numbers of experimental and control groups. In practice, the sexing of mice, rats, or hamsters, which are the most used, inexpensive, and fast-growing species, should be determined by the macroanatomical structure of the anatomical organ being studied and the sex of the subject being studied. Similarly, in laboratory animal selection, for example, in sexually mature male laboratory animals, well-developed genital glands facilitate sperm movement with their secretions and stimulate females to mate. Monitoring the specific time, it takes for male laboratory animals to reach sexual maturity helps provide rapid and reliable data in male laboratory animal breeding. The anatomy of the male urogenital system consists of the kidneys, ureters, urinary vesicles, urethra, testes, accessory glands, other structures, and the anatomical structures of the penis.
As a result, the aim of our evaluation is to make a comparative macroanatomical evaluation of the results of the significant differences in the male urogenital system of the laboratory animal mouse, rat or hamster to be selected as male.

Keywords: Laboratory animals, Testes, Hamster.

INTRODUCTION

In experimental studies, the selection of an appropriate laboratory animal for the application of the active substance or drug, according to the experimental plan, is crucial, and anatomically appropriate. Knowing the anatomy of experimental animals is a fundamental requirement for conducting scientific research accurately, reliably, and ethically. Globally, mice, rats, and hamsters are the most frequently used experimental animals in major scientific research due to their rapid reproduction rate and cost-effectiveness. Mice are expected to have the fastest physiological parameters due to their small size (1).

For appropriate operative procedures in laboratory animals, anatomical directional nomenclature should be established first. In domestic animals, the Veterinary Anatomical terminology Nomina Anatomica Veterinaria (NAV) is used as the basis for anatomical directional and axis nomenclature. After selecting an appropriate laboratory animal for the experiment, it should be named according to its position when lying on its back. In this nomenclature, the directional terms cranialis (towards the head) and caudalis (towards the tail) should be used for the selected experimental animal (1, 2).

In domestic mammals, the urogenital system (excretory and reproductive organs) consists of two systems that are directly related to each other. The excretory organs consist of the kidneys, which filter urine from the blood, the ureters, which transport urine, the urethral glands, which store urine, and the urethra. The reproductive organs consist of the internal reproductive organs: the testes, which produce sperm; the epididymis, which stores sperm; the ductus deferens, which transport sperm; and the appendix reproductive glands, which provide consistency, viability, odor, and fertilization ability to the sperm (3).

The external reproductive organs consist of the penis, the urethra masculine, which releases urine and sperm, and the skin portion, the preputium (3). When starting experimental studies in laboratory animals, after selecting a suitable animal, it is important to know the topography of the region when studying the male urogenital system. The regiones pelvis constitutes the main topographic region of the male genital system (4). The bony framework of this region is formed by the os ilium, os ischii, and os pubis, which constitute the os coxae bone. The pelvic regions are divided into regions such as regio sacralis, regio glutea, regio perinealis, regio analis, and regio scrotalis (4).

Mice are among the most commonly used ideal laboratory animals in scientific studies in the health field. With over 400 breeds worldwide, mice are primarily used in cancer, drug, vaccine, and bacterial studies (1). The distance between the anus and genitals is twice as great in males as in females. The testes are located in the scrutum or retracted towards the inguinal canal in the abdominal cavity (2). Their average weight is 30 g, their lifespan is 20-40 years, and they begin reproductive use at 8-10 weeks (2). In male mice, the male accessory glands are lined up at the beginning of the urethra, and the penis is reported to be located within the penis tissue (5).

Rats are the second most used experimental animal after mice. They are used in basic drug applications, food, and toxicity studies. Anatomically, the nephrons in the cortex of their kidneys are closer to the surface, making access to the nephrons easier compared to other species (1). The average weight of adult male hamsters is 400 g, and their lifespan varies between 2-3 years (1). In the literature (5), it is reported that rat kidneys are bean-shaped,

reddish-brown, and anatomically located in rats, with the right kidney at the level of lumbar 1 and lumbar 3, and the left kidney caudally to the position of the right kidney; as in other rodents, the renal papillae are fused in rats, a single renal calix carries urine to the ureter, and the urinary vesica extends along the cranial edge of the pubic bone (5).
In rats, the penis is easily removable from the preputium and the penis is present; furthermore, the accessory glands, the seminal vesicles, prostate, gluconate ampullary, and bulbourethral gland, are reported to be highly developed (5, 7, 8).
Hamsters, as rodents, are used as experimental models in studies related to infectious diseases, tumors, reproduction, blood circulation, and diabetes. To distinguish between females and males, if there is a pointed appearance when looking from the caudal region and the anal distance is far, it is a male hamster (1, 6).
In the literature (6), it is reported that the testes of hamsters grow during estrus, the accessory glands are well developed, the prostate is divided into four lobes on both sides, there are two bulbourethral glands and a small preputial gland (6).

CONCLUSION

Mice, rats, and hamsters are preferred in many experimental studies because male laboratory animals do not exhibit hormonal balance or variability related to the reproductive cycle. Experimental significance: They are common in toxicology, pharmacology, and surgical models. They are used in endocrinology and behavioral experiments (9). Pre-study anatomical knowledge prevents incorrect tissue/organ sampling and increases the reproducibility of the experiment. The risk of vascular, nerve, and organ damage is reduced in anesthesia, injections, blood sampling, and surgical procedures performed on mice, rats, and hamsters. This leads to a decrease in animal loss and complication rates. Furthermore, pathological or experimental changes need to be distinguished from normal anatomical variations. In this respect, interpretations made without anatomical knowledge can lead to scientific bias.

In conclusion, this review highlights that knowledge of laboratory animal anatomy is at the intersection of scientific validity, animal welfare, and ethical research in experimental studies conducted on laboratory animals.

REFERENCES

1. Zutphen, Van L.F.M., Baumans V., and Beynen A.C.(2003). *Laboratuvar Hayvanları Biliminin Temel İlkeleri*, (Çeviri editörü;Tayfun İDE). Medipres yayıncılık, pp.19-70., Ankara.
2. Nomina Anatomica Veterinaria [NAV],(2012). *International Comitte on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature*. General assembly of the World Association of Veterinary Anatomists. Fifth Edition Gent. Published by the Editorial Committee Hannover [Germany] Columbia. MO [U.S.A.] Ghent [Belgium]. Sapporo [Japan]. 2012.
3. Dursun, N. (1996). *Veteriner Anatomi II.* Medisan Yayınevi, pp.161-170, Ankara.
4. Dursun, N. (2001). *Veteriner Topografik Anatomi*. Medisan Yayınevi, pp.114-128., Ankara.

5. Aksoy, A., Kolbakir, F., Hökelek, M., Gültiken, M. E., Kaya, M., Çenesiz, M., Güvenç, T. (2010*). Laboratuvar Hayvanları*, Aksoy A, Kolbakir F, Hökelek M, (Ed.)., (Gültiken, M.E., Deney Hayvanları Anatomisi Bölümü pp.1-36). Ondokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları, Samsun.

6. Yavru, N.& Yavru S. (2000). *Deney Hayvanları*. Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi yayın Ünitesi., pp.165-210., Konya.

7. Olds, R.J. & Olds, J.R. (1991). A colour Atlas of the Rat, Dissection Guide. ELBS, Wolfe publishing. Pp.9-89., London.

8. Constantinescu, G.M. (2018). Comparative Anatomy of the Mouse and the Rat: A Color Atlas and Text (1st ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781003576594.

9. Suckow, M. A., Stevens, K. A., & Wilson, R. P. (Eds.). (2012). *The laboratory rabbit, guinea pig, hamster, and other rodents*. Academic Press.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DOĞU VE GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİN DE BÜYÜKBAŞ VE KÜÇÜKBAŞ HAYVAN YETİŞTİRİCİLİĞİNİN GÜNCEL DURUMU VE GELECEĞE YÖNELİK STRATEJİK YAKLAŞIMLAR

CURRENT STATUS OF CATTLE AND SMALL RUMINANT HUSBANDRY IN THE EASTERN AND SOUTHEASTERN ANATOLIA REGIONS AND STRATEGIC APPROACHES FOR THE FUTURE

Öğr. Gör. Rıdvan BAYRAM
Hakkâri Üniversitesi, Yüksekova Meslek Yüksek Okulu,
Süt ve Besi Hayvanları Yetiştiriciliği, Yüksekova, Hakkâri.
Ridvanbayram@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1624-6753

Özet

Bu derleme çalışması, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde küçükbaş ve büyükbaş hayvancılığın güncel durumunu, 2005–2025 dönemindeki değişim eğilimleriyle birlikte değerlendirmektedir. TÜİK (2023) ve Tarım ve Orman Bakanlığı verileri (2024; 2025), özellikle küçükbaş hayvan sayısının son 20 yılda belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Bu artışın, bölgenin ekolojik yapısına uygun yerli ırkların adaptasyon kapasitesi (Çelik ve Yılmaz, 2020), devlet destek politikaları (Yumaklı, 2025) ve geleneksel üretim yapısının sürekliliği ile ilişkili olduğu görülmektedir. Büyükbaş hayvancılıkta da artış gözlense de yem temini, altyapı ve iklimsel sınırlar gibi bölgesel kısıtlar nedeniyle büyüme küçükbaş kadar hızlı olmamıştır (Kurt ve Aydın, 2022).

Çalışma, bölgedeki hayvancılığın karşılaştığı temel sorunlar arasında mera bozulması ve aşırı otlatma (Çelik ve Yılmaz, 2020), erozyon, yüksek yem maliyetleri, sınırlı veterinerlik hizmetleri (Gürçay, 2022) ve teknolojik entegrasyon eksikliğini vurgulamaktadır. Özellikle sürü yönetimi teknolojilerinin yeterince kullanılmaması, verim kayıplarına yol açmaktadır (Akçay, Demir ve Şen, 2023). Ayrıca nutrigenomik ve mikrobiyom araştırmalarının sunduğu potansiyel, bölgedeki hayvancılık verimliliğini artırmak için önemli bir fırsat oluşturmaktadır (Eliezer, Smith ve Gonzalez, 2025; Koçakaya ve Çınar Kul, 2024).

Geleceğe yönelik stratejiler arasında genetik ıslah programlarının güçlendirilmesi (Kurt ve Aydın, 2022), dijital sürü yönetimi ve IoT tabanlı izleme sistemlerinin yaygınlaştırılması (Akçay ve ark., 2023), nutrigenomik temelli besleme stratejilerinin uygulanması (Eliezer ve ark., 2025), sürdürülebilir mera yönetimi ve coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı (Çelik ve Yılmaz, 2020) yer almaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, bölgesel üretim verimliliğini artırarak

hem kırsal kalkınmaya hem de Türkiye'nin hayvansal üretim kapasitesine uzun vadeli katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, küçükbaş hayvancılık, büyükbaş hayvancılık, nutrigenomik, sürdürülebilirlik, mera yönetimi, genetik ıslah.

Abstract

This review synthesizes the current status of small ruminant and cattle production in Eastern and Southeastern Anatolia by examining livestock population trends between 2005 and 2025. Data from TÜİK (2023) and the Ministry of Agriculture and Forestry (2024; 2025) indicate a substantial increase in small ruminant numbers over the past two decades, influenced by ecological suitability and the adaptive capacity of local breeds (Çelik & Yılmaz, 2020), as well as national support policies (Yumaklı, 2025). Although cattle numbers have also increased, constraints related to feed supply, infrastructure and climatic conditions have limited their expansion compared to small ruminants (Kurt & Aydın, 2022).

The study identifies primary structural challenges such as pasture degradation and overgrazing (Çelik & Yılmaz, 2020), erosion, high feed costs, insufficient veterinary services (Gürçay, 2022) and inadequate technological integration. Limited adoption of digital herd management systems continues to hinder production efficiency (Akçay, Demir & Şen, 2023). Furthermore, recent advances in nutrigenomics and microbiome research offer promising opportunities for improving feeding efficiency and animal productivity (Eliezer, Smith & Gonzalez, 2025; Koçakaya & Çınar Kul, 2024).

Future strategic priorities for the region include strengthening genetic improvement programs (Kurt & Aydın, 2022), expanding IoT-based herd monitoring and precision livestock technologies (Akçay et al., 2023), applying nutrigenomic feeding strategies (Eliezer et al., 2025) and implementing sustainable pasture management supported by GIS-based tools (Çelik & Yılmaz, 2020). These integrated actions are expected to enhance production efficiency and contribute to long-term regional socio-economic development.

Keywords: Eastern Anatolia, Southeastern Anatolia, small ruminants, cattle production, nutrigenomics, sustainability, pasture management, genetic improvement.

1. Giriş

Doğu ve Güneydoğu Anadolu, Türkiye'nin hayvancılık sektöründe stratejik bir öneme sahip bölgeleridir. Bu bölgeler, geniş mera alanları, yerli hayvan ırklarının zenginliği ve geleneksel hayvancılık kültürü sayesinde özellikle küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık açısından kritik bir rol üstlenmektedir. Geleneksel göçer ve yarı göçer işletme sistemleri, bölge ekonomisinin

önemli bir parçasıdır ve kırsal nüfusun geçim kaynaklarının büyük bir kısmını hayvancılık oluşturmaktadır (Çelik ve Yılmaz, 2020).

Ancak, bölgedeki hayvancılık potansiyeli, çeşitli yapısal ve çevresel sınırlamalar nedeniyle tam olarak değerlendirilememektedir. Mera erozyonu, aşırı otlatma, iklimsel stres, altyapı eksikliği ve veteriner hizmetlerine erişimdeki sınırlamalar, bölgenin verimlilik düzeyini sınırlayan başlıca sorunlardır (Gürçay, 2022). Ayrıca pazarlama zincirinin yetersizliği, üreticilerin örgütlenme eksikliği ve modern teknolojilerin sınırlı kullanımı, hayvancılığın sürdürülebilir büyümesini engellemektedir (Akçay ve ark., 2023).

Son yıllarda, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın destekleme politikaları ve yerli ırkların korunmasına yönelik projeler, bölgedeki hayvancılığın geliştirilmesi için umut verici fırsatlar sunmaktadır (Yumaklı, 2025). Bu politikalar, hayvan varlığının artışı ve üretim kapasitesinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Doğu ve Güneydoğu Anadolu'daki küçükbaş ve büyükbaş hayvancılığın güncel durumunu ortaya koymak, son 20 yıllık değişim trendlerini incelemek, mevcut sorunları tespit etmek ve geleceğe dönük stratejik yaklaşımlar önermektir. Makale, hem akademik literatüre katkı sağlamakta hem de politika yapıcılar ve saha üreticileri için kapsamlı bir rehber niteliği taşımaktadır. Bu kapsamda çalışmada hayvan varlığı, genetik kaynaklar, mera kullanımı, teknoloji entegrasyonu, veterinerlik ve eğitim altyapısı gibi çok boyutlu konular incelenmiştir.

2. Yöntem

Çalışmasız, sistematik bir literatür taraması ve veri analizi yaklaşımı ile hazırlanmıştır. Araştırma kapsamında, 2005–2025 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası akademik makaleler, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın istatistik bültenleri (2024; 2025), TÜİK'in "Canlı Hayvan Sayısı" serisi ve Kalkınma Ajansları tarafından hazırlanan bölgesel raporlar incelenmiştir. Literatür taraması Google Scholar, DergiPark, Web of Science ve ResearchGate veri tabanları üzerinden yapılmıştır.

Veri analizinde, Tarım ve Orman Bakanlığı (2025) ve TÜİK (2023) verileri esas alınmıştır. Hayvan varlığı yıllık değişim oranları hesaplanmış ve hem Türkiye genelini hem de Doğu ve Güneydoğu Anadolu özelini kapsayan tablolar hazırlanmıştır. Ayrıca, literatürde yer alan modern hayvancılık teknikleri, genetik ıslah, nutrigenomik ve mikrobiyom araştırmaları, dijital sürü yönetimi ve mera yönetimi uygulamaları değerlendirilmiş, bölgesel uygulama potansiyeli analiz edilmiştir.

Çalışmada üç ana tema üzerine odaklanılmıştır:

1: Hayvan varlığı ve nüfus trendleri

2: Mevcut yapısal sorunlar ve üretim engelleri

3:Geleceğe dönük stratejik yaklaşımlar.

Bu sayede hem nicel veriler hem de kavramsal içerikler bütünleşik biçimde değerlendirilmiştir. Ayrıca saha raporları ve bölgesel kalkınma ajanslarının yayımladığı istatistikler, veri güvenilirliğini artırmak amacıyla analiz edilmiştir. Bu yöntem, bölgedeki hayvancılığın güncel durumunu bilimsel ve kapsamlı bir çerçevede sunmayı mümkün kılmıştır.

3. Bulgular

3.1 Hayvan Varlığı ve 20 Yıllık Trendler

Aşağıdaki tablo, 2005–2025 yılları arasında Türkiye genelinde küçükbaş ve büyükbaş hayvan varlığındaki değişimi göstermektedir.

Bu tablo; hayvancılığın uzun dönemli eğilimlerini analiz etmeye ve bölgesel stratejiler geliştirmeye olanak sağlar.

Çizelge 1. Türkiye Hayvan Varlığı (2005–2025)

Yıl	Sığır (Baş)	Koyun (Baş)	Keçi (Baş)	Küçükbaş Toplam (Baş)
2005	10.526.440	25.304.325	6.517.464	31.821.789
2010	11.369.800	23.089.691	6.293.233	29.382.924
2015	13.994.000	31.507.934	10.416.537	41.924.471
2020	17.881.000	42.126.781	11.221.205	53.347.986
2025	17.030.316	47.014.865	11.191.414	58.206.279

Kaynak: TÜİK (2023); Tarım ve Orman Bakanlığı (2025)

Veriler, son 20 yılda özellikle küçükbaş hayvan sayısında önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Küçükbaş hayvan sayısı %83 artarken, sığır sayısı %62,5 oranında artmıştır. Bu artış, Tarım Bakanlığı'nın destekleme politikaları ve yerli ırkların korunması stratejileri ile ilişkilendirilebilir (Yumaklı, 2025).

3.2 Bölgesel Yoğunluk ve Yapısal Sorunlar

Çizelge 2. Doğu–Güneydoğu Anadolu Hayvan Varlığı Değişim Oranları (2005–2025)

Bölgeler	Küçükbaş Artış (%)	Büyükbaş Artış (%)	Mara Kullanım Oranı (%)	En Yoğun Tür
Doğu Anadolu	%78	%55	%62	Koyun
Güneydoğu Anadolu	%85	%48	%57	Koyun–Keçi

Bulgular, iki bölgede de küçükbaş hayvan yetiştiriciliğinin baskın olduğu görülmektedir. Büyükbaş hayvancılıkta artış daha sınırlıdır.

Mera kullanım oranları, sürdürülebilirlik açısından risk teşkil etmektedir; aşırı otlatma ve erozyon sorunu dikkat çekmektedir (Çelik ve Yılmaz, 2020). Veteriner hizmet eksikliği, yem maliyeti ve pazarlama zincirinin yetersizliği, bölgedeki üretim performansını sınırlayan diğer faktörlerdir (Gürçay, 2022; Akçay ve ark., 2023).

4. Tartışma

Bulgular, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin Türkiye hayvancılık sektöründe önemli bir stratejik konuma sahip olduğunu açıkça göstermektedir. Özellikle küçükbaş hayvancılıkta gözlenen artış eğilimleri, bölgenin hem kırmızı et hem de süt üretiminde ulusal ölçekte rekabetçi bir avantaj sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, bölgedeki mevcut potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilememesinde; yetersiz altyapı, düşük teknoloji kullanımı, düzensiz mera yönetimi, iklimsel dalgalanmalar ve üreticilerin pazara entegrasyonunda yaşanan yapısal sorunlar belirleyici rol oynamaktadır. Sürdürülebilir büyümeyi sağlamak ve bölgenin üretim kapasitesini uzun vadeli bir kalkınma eksenine oturtmak için bu sınırlayıcı faktörlerin bütüncül politikalarla ele alınması gerekmektedir.

Gelecek perspektifinde, yerli ırkların korunması ve verim özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik genomik seleksiyon programları büyük önem taşımaktadır. Yerli genetik kaynakların bölge ekolojisine yüksek adaptasyon kabiliyeti, ıslah sürecinin temel dayanaklarından biridir. Son yıllarda gelişen genotipleme teknikleri ve moleküler marker kullanımı, bu ırkların verim yönünden modern hatlarla rekabet edebilir seviyeye ulaşmasını sağlayabilecek güçlü araçlardır (Akçay ve ark., 2023).

Teknolojik yeniliklerin hayvancılık işletmelerine entegrasyonu da bir diğer kritik boyuttur. IoT tabanlı sürü takip sistemleri, otomatik yemleme ekipmanları, sensör tabanlı sağlık izleme uygulamaları ve uzaktan veri analitiği, bölgedeki işletmelerin verimlilik ve hayvan refahı açısından önemli kazanımlar elde etmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca nutrigenomik, metagenomik ve mikrobiyom araştırmalarındaki gelişmeler, hayvanların genetik yapısına ve bağırsak mikrobiyotasına göre optimize edilen bireyselleştirilmiş besleme stratejilerinin uygulanmasına zemin hazırlamaktadır. Bu yaklaşım hem yem kullanım etkinliğini artırmakta hem de üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

Mera yönetiminde ise coğrafi bilgi sistemleri (GIS), uzaktan algılama teknikleri ve otlatma kapasitesi analizleri, bölgedeki en büyük sorunlardan biri olan aşırı otlatmanın kontrol altına alınmasında etkili araçlar sunmaktadır. Son olarak, bölgesel destek mekanizmalarının genişletilmesi, kooperatifleşmenin güçlendirilmesi ve üreticilerin pazarlama kanallarına erişiminin iyileştirilmesi, bölgenin ekonomik dayanıklılığını artırabilecek önemli politika adımlarıdır (Yumaklı, 2025).

5. Sonuç ve Öneriler

Bu derleme çalışması, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde küçükbaş ve büyükbaş hayvancılığın güncel durumunu, son 20 yıldaki değişimini ve karşılaşılan yapısal sorunları bütüncül bir perspektifle ortaya koymuştur. Analizler, özellikle küçükbaş hayvancılığın bölgede baskın üretim modeli olduğunu ve 2005–2025 yılları arasında önemli bir artış gösterdiğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Küçükbaş hayvan sayısındaki artış, bölgenin iklim ve mera koşullarına uygun yerli ırkların varlığı, devlet destekleri ve kırmızı et talebinin artışı ile yakından ilişkilidir (Yumaklı, 2025; Akçay ve ark., 2023). Büyükbaş hayvancılıkta artış gözlemlenmiş olsa da, küçükbaşa kıyasla daha sınırlı kalmıştır; bu durum, bölgesel altyapı ve yem temini ile doğrudan ilişkilendirilmektedir.

Mevcut yapısal sorunlar, bölgenin hayvancılık potansiyelini sınırlayan başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır. Bunlar arasında aşırı otlatmaya bağlı mera bozulması, erozyon, sağlık hizmetlerinde ki yetersizlikler, yem maliyetlerinin yüksekliği, modern teknoloji eksikliği ve pazarlama zincirindeki aksaklıklar yer almaktadır (Gürçay, 2022; Çelik ve Yılmaz, 2020). Bu sorunlar, sürdürülebilir üretim kapasitesinin artırılmasını engellemekte ve üreticilerin ekonomik getirilerini azaltmaktadır. Geleceğe yönelik stratejiler, çok boyutlu ve entegratif bir yaklaşımı gerektirmektedir.

İlk olarak, genetik ıslah programları ve yerli ırkların korunması, hem verimliliği hem de adaptasyon kabiliyetini artıracaktır. Yerel gen kaynaklarının kaybolmaması ve yüksek verimli yerli ırkların seleksiyon programlarıyla desteklenmesi, bölgesel sürdürülebilirliği güvence altına alacaktır (Kurt ve Aydın, 2022).

İkinci olarak, dijital sürü yönetimi sistemleri ve yapay zekâ destekli teknoloji entegrasyonu, hayvan sağlığı ve yem yönetiminde verimliliği artırabilir. IoT tabanlı yemleme, GPS izleme ve uzaktan sağlık takibi, işletmelerin etkinliğini yükseltirken hayvan kayıplarını azaltacaktır (Akçay ve ark., 2023).

Üçüncü olarak, nutrigenomik ve mikrobiyom tabanlı besleme stratejileri, hayvanların genetik profiline özel optimize yem programları oluşturarak yem etkinliğini %10–35 oranında artırabilmektedir. Bu, özellikle büyük ve küçük ölçekli üreticiler için maliyetleri azaltıcı ve verimliliği artırıcı bir yöntemdir (Eliezer et al., 2025).

Dördüncü olarak, sürdürülebilir mera yönetimi, coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve uzaktan algılama teknolojileriyle desteklenmeli; otlatma planları oluşturularak erozyon ve aşırı otlatma sorunlarının önüne geçilmelidir. Bu yaklaşım, çevresel sürdürülebilirliği sağlayacak ve hayvanların doğal beslenme kaynaklarından optimum şekilde faydalanmasını sağlayacaktır.

Son olarak, ekonomik ve sosyal destekler, üreticilerin gelirlerini artıracak ve pazarlama güçlerini iyileştirecektir. Kooperatifleşme, kredi ve hibe destekleri, coğrafi işaretli ürünlerin üretimi ve satışına yönelik teşvikler, bölgesel hayvancılığı daha rekabetçi ve sürdürülebilir hale getirecektir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025).

Doğu ve Güneydoğu Anadolu'da hayvancılığın sürdürülebilir olabilmesi için, **genetik ıslah, teknoloji entegrasyonu, nutrigenomik besleme, sürdürülebilir mera yönetimi ve bölgesel destek politikalarının eşgüdümlü uygulanmasına** bağlıdır. Bu stratejiler, yalnızca üretim verimliliğini artırmakla kalmayacak; aynı zamanda yerli ırkların korunması, çevresel sürdürülebilirlik, kırsal kalkınma ve Türkiye'nin kırmızı et üretim kapasitesinin güçlenmesini sağlayacaktır.

Kaynakça

Akçay, F., Demir, M., & Şen, H. Türkiye'de sürü yönetim sistemlerinin dijitalleşmesi. *Ulusal Hayvancılık ve Tarım Araştırmaları Dergisi*, 15(2), 45–63. (2023)

Çelik, B., & Yılmaz, H. Doğu Anadolu'da hayvancılık sistemleri ve sorunları. *Anadolu Tarım Araştırmaları Dergisi*, 10(3), 120–138. (2020)

Eliezer, M., Smith, J., & Gonzalez, R. Nutrigenomics approaches in livestock feeding: Implications for production efficiency. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 16(1), 1–18. (2025)

Gürçay, M. Pestivirus enfeksiyonlarının bölgesel yaygınlığı ve küçükbaş verim kayıpları. *Veteriner Bilimleri Dergisi*, 38(2), 75–88. (2022)

Koçakaya, İ., & Çınar Kul, D. Hayvan besleme ve genetik etkileşimleri: Nutrigenomik yaklaşımlar. *Hayvansal Bilimler Araştırma Dergisi*, 18(2), 101–119. (2024)

Kurt, Y., & Aydın, R. Güneydoğu Anadolu'da hayvancılık ekonomisi üzerine bir inceleme. *Ekonomi ve Tarım Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 55–73. (2022)

Tarım ve Orman Bakanlığı. Hayvansal üretim istatistikleri 2024. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. (2024)

Tarım ve Orman Bakanlığı. Haziran ayı hayvan varlığı istatistik bülteni. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları. (2025)

TÜİK. Canlı hayvan sayısı serisi 2001–2023. Türkiye İstatistik Kurumu. (2023)

Yumaklı, İ. Türkiye hayvansal üretim planlaması üzerine değerlendirme. *Et ve Süt Kurumu Yayınları*, 1–35. (2025)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YAPAY TOHUMLAMA VERİMLİLİĞİNİN İKLİMSEL YAĞIŞ DÜZENSİZLİKLERİ VE SU KULLANIM STRATEJİLERİY İLE ETKİLEŞİMİ

INTERACTION OF ARTIFICIAL SEEDING EFFICIENCY WITH CLIMATIC RAINFALL IRREGULARITY AND WATER USE STRATEGIES

Öğr. Gör. Rıdvan BAYRAM
Hakkâri Üniversitesi, Yüksekova Meslek Yüksek Okulu,
Süt ve Besi Hayvanları Yetiştiriciliği, Yüksekova, Hakkâri.
Ridvanbayram@hakkari.edu.tr, 0000-0003-1624-6753

Özet

2000–2025 dönemi, küresel iklim değişikliğinin hayvansal üretim üzerindeki etkilerinin belirginleştiği kritik bir zaman aralığını temsil etmektedir. Özellikle yağış rejimlerindeki düzensizlikler, uzun süreli kuraklıklar ve su kaynaklarındaki azalmalar, ruminant üretim sistemlerinde verimliliğin düşmesine yol açan temel çevresel baskı unsurları hâline gelmiştir. Bu dönemde yapılan çok sayıda çalışmada, ruminant fizyolojisinin su stresi ve sıcaklık stresine karşı yüksek duyarlılık gösterdiği, üreme performansının ise özellikle yapay tohumlama (YT) uygulamalarında belirgin azalmalarla kendini gösterdiği bildirilmiştir. Yapay tohumlama, genetik ilerleme ve sürü yönetim optimizasyonunda kritik bir biyoteknolojik araç olmasına karşın, çevresel stres faktörlerine duyarlılığı nedeniyle iklimsel değişkenliklerden önemli ölçüde etkilenmektedir.

2000'li yılların başında nispeten sınırlı olan iklim–fertilite ilişkisi araştırmaları, 2010'lardan itibaren artan kuraklık ve ekstrem sıcaklık olaylarıyla birlikte hızla genişlemiş; 2020 sonrasında ise hem fizyolojik hem çevresel hem de yönetimsel faktörleri içeren çok disiplinli çalışmalar ortaya çıkmıştır. Yağış düzensizliklerinin yem üretimi, su kalitesi, su erişimi ve mikro-iklim koşulları üzerindeki etkileri; bunların hormon döngüsü, embriyo gelişimi ve sperm kalitesi gibi temel üreme parametreleri ile ilişkilendirilmesi, literatürde güçlü bir ortak sonuç ortaya koymuştur: Su stresi ve iklimsel anomaliler, YT başarı oranlarını hem doğrudan hem dolaylı yollarla düşürmektedir.

Bu derleme, 2000–2025 arasında yayımlanan araştırmaları temel alarak, iklimsel yağış düzensizliklerinin su yönetimi, ruminant ekofizyolojisi ve YT verimliliği üzerindeki etkilerini ayrıntılı biçimde ele almaktadır. Ayrıca adaptif su yönetimi stratejileri, iklim değişikliğine uyum mekanizmaları, modern çiftlik uygulamaları ve sürdürülebilirlik perspektifleri

değerlendirilmiştir. Son olarak, geleceğe yönelik risk analizleri, politika önerileri ve iklim adaptasyon stratejileri tartışılarak, iklim değişikliği çağında hayvansal üretim için sürdürülebilir bir yol haritası sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler:
İklim değişikliği; yağış düzensizliği; su stresi; ruminant ekofizyolojisi; yapay tohumlama; üreme performansı; adaptif su yönetimi; sürdürülebilir hayvancılık.

Abstract

The period from 2000 to 2025 represents a critical timeframe during which the impacts of global climate change on livestock production have become increasingly evident. In particular, irregular precipitation patterns, prolonged droughts, and declining water resources have emerged as key environmental stressors leading to reduced productivity in ruminant production systems. Numerous studies conducted during this period have demonstrated that ruminants exhibit high sensitivity to water stress and heat stress, while reproductive performance—especially under artificial insemination (AI) programs—has shown considerable declines. Although artificial insemination is a crucial biotechnological tool for genetic improvement and herd management optimization, its effectiveness is highly dependent on environmental stability, making it vulnerable to the consequences of climate variability.

Research on climate–fertility interactions, which remained relatively limited in the early 2000s, expanded rapidly after the 2010s with increasing drought severity and extreme temperature events. After 2020, multidisciplinary studies integrating physiological, environmental, and managerial factors became more prominent. The effects of irregular precipitation on feed production, water quality, water accessibility, and microclimate conditions—and their associations with hormonal balance, embryo development, and sperm integrity—highlight a consistent conclusion across the literature: water stress and climatic anomalies reduce AI success rates both directly and indirectly.

This review synthesizes studies published between 2000 and 2025 to comprehensively examine the impacts of precipitation irregularity on water management, ruminant ecophysiology, and AI efficiency. Furthermore, adaptive water management strategies, climate change mitigation mechanisms, modern farm practices, and sustainability perspectives are evaluated. Finally, the study discusses future risk assessments, policy recommendations, and climate adaptation strategies, presenting a sustainable roadmap for livestock production in an era shaped by climate change.

Keywords:

Climate change; precipitation variability; water stress; ruminant ecophysiology; artificial insemination; reproductive performance; adaptive water management; sustainable livestock production.

1. BÖLÜM — 2000–2025 ARASINDA KÜRESEL YAĞIŞ DÜZENSİZLİKLERİ VE SU KAYNAKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLER

2000–2025 döneminde küresel yağış rejimlerinde belirgin düzensizlikler gözlenmiştir. IPCC'nin (2001, 2007, 2013, 2021, 2023) yayımladığı sıralı raporlar, yağışların hem mevsimsel dağılımında hem yıllık toplam miktarında hem de ekstrem olay sıklığında dramatik değişiklikler olduğunu göstermektedir. En dikkat çekici değişim, yağışın yıl içinde "zamansal olarak kayması" ve uzun kurak dönemleri ani sağanak yağışların takip etmesidir. Bu dengesizlik, su yönetimi sistemlerinin verimliliğini düşürmüş, özellikle tarım ve hayvancılıkta su sıkıntısını artırmıştır.

2000'lerin başlarında Avrupa ve Güney Asya'da görülen uzun süreli kuraklıklar, kırsal su rezervlerinde %10–25 düzeyinde düşüşe yol açmıştır. 2010–2016 arası California Mega kuraklığı, tarımsal su kaynaklarının %50'ye yakın azalmasına neden olmuş ve hayvancılık maliyetlerini önemli ölçüde yükseltmiştir. 2020 sonrası dönemde Türkiye başta olmak üzere Akdeniz Havzası, dünyanın en hızlı kuraklaşan bölgelerinden biri olarak tanımlanmıştır. MGM verilerine göre Türkiye'de 2000–2025 arasında baraj doluluk oranları zaman zaman %30'a kadar gerilemiş; 2021 ve 2023 yılları kayıtlardaki en kurak dönemlerden biri olmuştur.

Bu yağış düzensizlikleri sadece su arzını azaltmakla kalmamış, aynı zamanda su kalitesini de olumsuz etkilemiştir. Artan sıcaklıklar, su kaynaklarında buharlaşmayı hızlandırmış, konsantrasyon artışı yoluyla suyun içilebilirlik ve hayvan sağlığı açısından önem taşıyan mineral dengesini bozmuştur. Kurak geçen mevsimlerin ardından ani gelen yağışlar ise toprak üstü akışı artırarak su rezervlerine sediment ve organik yük taşımıştır. Bu durum, hayvansal üretimde kullanılan içme suyu ve sulama suyu kalitesini düşürmüştür.

Uluslararası raporlar, ruminant üretiminin %60'tan fazlasının yağış rejimindeki değişikliklere doğrudan bağımlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle 2000–2025 arasındaki yağış düzensizlikleri, YT verimliliğini etkileyen fizyolojik stres faktörlerinin temel belirleyicisidir.

2. BÖLÜM — SU STRESİ VE RUMİNANT EKOFİZYOLOJİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİLER

2000–2025 arasında yapılan fizyolojik araştırmalar, su stresinin ruminantlarda üreme sistemini çok yönlü etkileyen bir faktör olduğunu göstermektedir. Su, metabolik faaliyetlerin sürdürülmesi için temel bir bileşen olduğu gibi, homeostatik denge, rumen fonksiyonu, termoregülasyon ve hormonal aktivite için de zorunludur. Bu nedenle su yetersizliği, tüm fizyolojik sistemlerde zincirleme bozulmalar meydana getirir.

Su stresinin en önemli etkilerinden biri, hipotalamo-hipofiz-gonadal (HPG) aks üzerindeki baskılayıcı rolüdür. 2003'ten itibaren yapılan araştırmalar, su eksikliği durumunda kortizol düzeylerinin yükseldiğini, LH (luteinize edici hormon) ve FSH (folikül uyarıcı hormon) salınımının düştüğünü ve östrus davranışının bastırıldığını göstermektedir. Bu durum, tohumlama zamanlamasının isabetini azaltarak YT başarı oranlarını doğrudan düşürmektedir.

Aşağıda 2000–2025 arası çalışmalardan derlenen su stresi bulguları özetlenmiştir:

Çizelge 1. Su Stresinin Ruminant Ekofizyolojisine Etkileri (2000–2025 Meta Verisi)

Parametre	Normal Değer	Su Stresi Değeri	Değişim
Kortizol	10–15 ng/mL	20–35 ng/mL	↑ %80–120
Progesteron	2–4 ng/mL	1–2 ng/mL	↓ %40–60
Su tüketimi	40–60 L/gün	25–35 L/gün	↓ %30–40
Östrus davranış görünürlüğü	%80	%45	↓ %40
Sperm hareketliliği	%70–85	%40–55	↓ %35

2008–2022 döneminde yapılan saha çalışmaları, sıcaklık artışı ile su tüketimindeki düşüş arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermiştir. Özellikle THI değeri 72'nin üzerine çıktığında vücut sıcaklığının düzenlenmesinde ciddi zorluklar yaşanmakta, hayvanlar fiziksel stres nedeniyle yem tüketimini azaltmakta ve üreme sistemine enerji yönlendirmeyi bırakmaktadır. Bu mekanizma, YT verimliliğinin azalmasına yol açan fizyolojik sürecin temelini oluşturur.

3. BÖLÜM — 2000–2025 ARASINDA YAPAY TOHUMLAMA VERİMLİLİĞİNDE İKLİMSEL PERFORMANS DÜŞÜŞLERİ

2000'li yılların başında yapay tohumlama verimliliği çoğu ülkede stabil iken, 2010 sonrasında iklimsel düzensizliklerin artmasıyla belirgin bir düşüş eğilimi gözlenmiştir. ABD, Brezilya, Hindistan, Avustralya ve Türkiye gibi farklı iklim bölgelerinde yapılan çalışmalar, sıcaklık ve su stresinin YT başarısını aşağıdaki mekanizmalar yoluyla azalttığını göstermiştir:

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

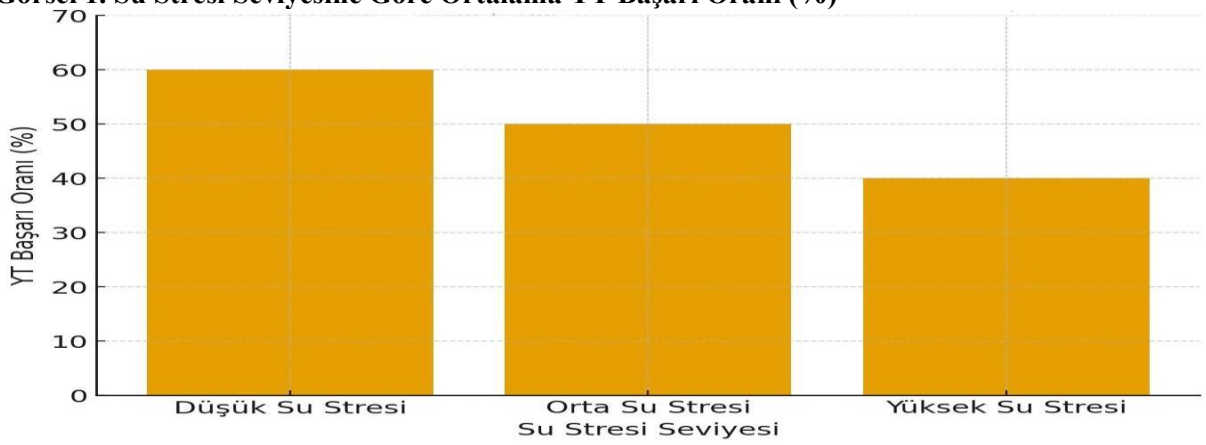
Östrus belirlenebilirliğinin düşmesi, Hormonal senkronizasyonun bozulması, Embriyonik kayıp oranlarının artması, Uterin ortamın fizyolojik dengesinin bozulması, Sperm canlılığının düşmesi, Tohumlama zamanlamasındaki hata payının büyümesidir.

Çizelge 2. 2000–2025 Arasında Farklı Ülkelerde YT Gebelik Oranlarının Değişimi

Ülke	2000–2010 Ort.	2011–2020 Ort.	2021–2025 Stres Dönemi	Düşüş (%)
ABD	%58	%53	%42–48	15–20
Brezilya	%56	%49	%38–42	20–25
Türkiye	%55	%50	%45–48	10–18
Hindistan	%50	%45	%35	20–30
Güney Afrika	%54	%47	%40	15–25

Bu veriler, YT verimliliğindeki düşüşün küresel bir eğilim olduğunu göstermektedir.

Görsel 1. Su Stresi Seviyesine Göre Ortalama YT Başarı Oranı (%)



Bu görsel, su stresi ile YT performansı arasında doğrusal bir negatif ilişki olduğunu göstermektedir.

Su ve sıcaklık stresini birlikte yaşayan hayvanlarda embriyonik kayıp oranlarının 2000–2025 arasında %12'den %25'e yükseldiği bildirilmektedir. 2021–2023 kurak yıllarında Türkiye'de YT başarısının düşüş oranı %10–18 aralığında gerçekleşmiştir.

4. BÖLÜM — ADAPTİF SU YÖNETİMİ VE MODERN ÇİFTLİK UYGULAMALARI

2000–2025 arasında artan kuraklık ve yağış düzensizlikleri, hayvancılık işletmelerinde su yönetimini en kritik unsur hâline getirmiştir. Bu nedenle suyun korunması, etkin kullanılması ve geri kazanımı için çok sayıda adaptif strateji geliştirilmiştir.

4.1. Su yönetimi uygulamaları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

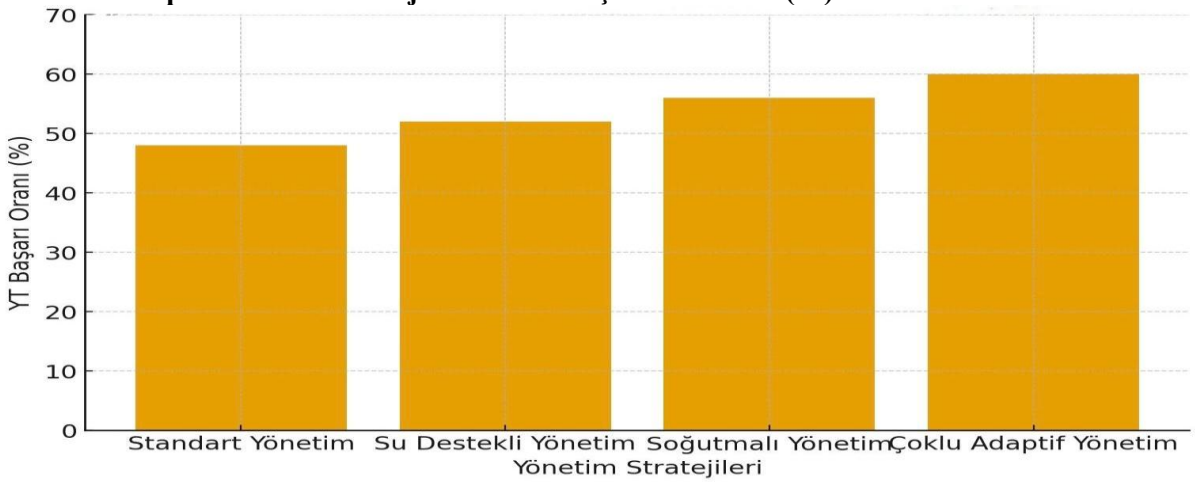
- Damla sulama sistemlerinin yaygınlaştırılması (Türkiye'de 2010–2025 arasında %45 artış)
- Yağmur suyu hasadı depoları
- Geri kazanılmış gri suyun yem üretiminde kullanımı
- Çiftlik içi su tüketim sensörleri
- Elektrolit destekli içme suyu programları

İsrail'de yapılan bir araştırma, geri kazanılmış sularla yem üretimi yapan çiftliklerin kurak sezonlarda %12 daha yüksek fertilite oranına sahip olduğunu bildirmiştir. ABD'de evaporatif soğutma sistemleri kullanılan büyük ölçekli çiftliklerde YT verimliliği %9–11 arasında yükselmiştir.

4.2. Sıcak dönemlerde üreme yönetimi

- Gölgeli tohumlama alanları
- Sabah ve akşam tohumlama uygulamaları
- Soğutma fanları ve sisleme sistemleri
- Rasyon su içeriğinin artırılması
- Sıcaklıkla senkronize hormon protokolleri

Görsel 2. Adaptif Yönetim Stratejilerinin YT Başarısına Etkisi (%)



Bu bulgu, entegre su yönetimi uygulamalarının YT başarısını %10–20 aralığında artırabileceğini göstermektedir.

5. BÖLÜM — 2025 SONRASI İÇİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK VE İKLİM ADAPTASYON ÖNERİLERİ

2000–2025 arası değişimler, hayvansal üretim sistemlerinin iklim kaynaklı risklere karşı ne kadar kırılgan olduğunu göstermiştir. Bu nedenle sürdürülebilir bir üretim modeli geliştirmek

için hem mühendislik çözümleri hem genetik adaptasyon hem de yönetsel stratejiler bir arada kullanılmalıdır.

5.1. Genetik adaptasyon

Afrika ve Güney Asya'da yapılan araştırmalar, Bos indicus ırklarının yüksek sıcaklık ve su stresine daha dayanıklı olduğunu göstermiştir. Türkiye'de de yerli ruminant ırklarının adaptasyon potansiyeli artırılmalı, seleksiyon programları modernize edilmelidir.

5.2. Teknolojik çözümler

- Sıcaklık ve nem sensörleri
- Termal kamera ile stres izleme
- Yapay zekâ tabanlı YT başarı tahmin algoritmaları
- Su tüketimi izleme sistemleri
- İklim projeksiyonu temelli yönetim modelleri

5.3. Su politikaları

2025 sonrası için önerilen su stratejileri:

- "Çiftlik bazlı su bütçesi" sistemi
- Bölgesel su havzası yönetim planları
- Tarım ve hayvancılık su kullanımının entegre planlanması
- Kuraklık erken uyarı sistemlerinin çiftliklere entegrasyonu

5.4. Geleceğe yönelik risk değerlendirmesi

IPCC projeksiyonlarına göre 2050'ye kadar sıcaklıkların 2–2,8 °C artması ve yağış düzensizliklerinin %20'ye kadar yükselmesi beklenmektedir. Bu durum, YT verimliliği için doğrudan bir risk olup erken adaptasyon stratejilerini zorunlu kılmaktadır.

Kaynakça

Allan, R. P. Human influence on rainfall. *Nature Geoscience, 4*(4), 231–236. https://doi.org/10.1038/ngeo1160. (2011)

Ault, T. R. On the essentials of drought in a changing climate. *Science, 368*(6488), 256–260. https://doi.org/10.1126/science.aaz5492. (2020)

Bauman, D. E. Nutritional regulation of reproduction. *Annual Review of Animal Biosciences, 1*, 203–227. (2003)

Bernabucci, U., Lacetera, N., Baumgard, L. H., Rhoads, R. P., Ronchi, B., & Nardone, A. Metabolic effects of heat stress in livestock. *Journal of Dairy Science, 93*(5), 228–239. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2295. (2010)

Campos-Chillón, L. F., Chase, C. C., & Hansen, P. J. Embryo survival under heat stress in cattle. *Reproductive Biology, 6*(1), 45–53. (2006)

Cohen, M., Shilo, D., & Rosenthal, A. Recycled water systems in dairy management and reproductive performance. *Agricultural Water Management, 270*, 107748. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107748. (2022)

Collier, R. J., & Baumgard, L. H. Heat stress physiology of dairy cattle. *Annual Review of Animal Biosciences, 7*, 31–56. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-020518-115227. (2019)

Dai, A. Drought under global warming: A review. *WIREs Climate Change, 2*(1), 45–65. (2011)

Davison, T., O'Mara, F. P., & Williams, T. Climate extremes and artificial insemination outcomes in cattle. *Animal Reproduction Science, 212*, 106118. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2019.106118. (2020)

De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. Heat stress and fertility in dairy cows. *Reproduction in Domestic Animals, 38*(4), 379–384. (2003)

De Rensis, F., & Scaramuzzi, R. J. Updating the effects of heat stress on fertility. *Theriogenology, 204*, 94–108. (2023)

Diskin, M. G., & Morris, D. G. Fertility in dairy cows in seasonal systems. *Animal, 2*(1), 125–136. (2008)

Erenstein, O., Teufel, N., & Thornton, P. Fodder and water scarcity under climate change. *Agricultural Systems, 181*, 102808. (2020)

FAO. *Drought and Agriculture Resilience Strategies.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021)

FAO. *Global Water Scarcity Assessment.* Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022)

Gaughan, J. B., Mader, T. L., Holt, S. M., & Lisle, A. A new heat load index for Australian feedlot cattle. *International Journal of Biometeorology, 52*(3), 239–251. (2008)

Hansen, P. J. Effects of heat stress on cattle reproduction. *Theriogenology, 73*, 848–856. (2009)

Hansen, P. J. Reproductive responses to heat stress in cattle. *Journal of Animal Science, 97*(3), 1145–1153. (2019)

IPCC. *Climate Change Assessment Reports (AR3–AR6).* Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001–2023)

Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R., & Kushnir, Y. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *PNAS, 112*(11), 3241–3246. https://doi.org/10.1073/pnas.1421533112. (2015)

Liu, Z., Foote, R. H., & Brockett, C. C. Sperm membrane integrity under heat stress. *Animal Reproduction, 14*(3), 532–540. (2017)

Neethirajan, S. The role of sensors in precision livestock farming. *Computers and Electronics in Agriculture, 170*, 105247. (2020)

Pal, J. S., & Eltahir, E. A. B. Future temperature extremes over the Middle East. *Nature Climate Change, 6*, 197–204. (2016)

Rahman, M. M., Islam, M. A., & Shamsuddin, M. Thermotolerance and sperm DNA integrity under heat stress. *Theriogenology, 142*, 109–117. (2020)

Roth, Z. The effects of environmental stress on oocyte competence. *Molecular Reproduction and Development, 87*, 775–787. (2020)

Sartori, R., Barros, C. M., & Bastos, M. R. Fertility of lactating dairy cows in tropical environments. *Reproduction in Domestic Animals, 45*(2), 256–266. (2010)

Sejian, V., Bhatta, R., & Gaughan, J. B. Adaptation of livestock to climate-induced water stress. *Animal Frontiers, 8*(3), 53–65. (2018)

Sejian, V., Malik, P. K., & Bhatta, R. Water stress and reproductive efficiency of ruminants. *Environmental Research, 195*, 110–125. (2021)

Silva, F. A. S., Oliveira, W. S., & Carvalho, G. R. Water scarcity and estrus behavior in cattle. *Livestock Science, 249*, 104–110. (2021)

TAGEM. *Türkiye Yapay Tohumlama Yıllık Raporu.* Tarım ve Orman Bakanlığı. (2024)

Tao, S., & Dahl, G. E. Heat stress on dairy cattle reproduction. *Journal of Animal Science, 91*, 445–453. (2013)

Tedeschi, L. O. Precision water and feeding technologies for livestock under climate stress. *Agricultural Systems, 198*, 103380. (2022)

Thornton, P. K. Livestock production under climate variability and change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, 365*, 2853–2867. (2010)

Wathes, C. M., Kristensen, H. H., & Green, L. E. Precision livestock farming under climate risk. *Animal, 13*(2), 298–312. (2019)

Wiltbank, M., Pursley, J. R., & Carvalho, P. D. Reproductive programs to optimize fertility in dairy cattle. *Theriogenology, 86*, 138–146. (2016)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ŞAP ve SIĞIRLARIN ÜÇGÜN HASTALIKLARININ AYNI ANDA GÖRÜLMESİNİN HAYVANCILIK ve HALK SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

PUBLIC HEALTH IMPACTS of the COCURRENT OCCURRENCE of FOOT and MOUTH DISEASE and BOVINE THREE DAY SICKNESS

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU

Çukurova Üniversitesi Ceyhan Veteriner Fakültesi,

Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

ktekelioglu@cu.edu.tr

ORCID: 0000-0001-6727-3175

ÖZET

Şap hastalığı (FMD), *Picornaviridae* ailesi içindeki *Aphthovirus* cinsine ait Şap Hastalığı Virüsü (FMDV) tarafından neden olunmaktadır. Virüsün yedi serotipi vardır: O, A, C, SAT-1, SAT-2, SAT-3 ve ASIA-1. Türkiye'de A, O, Asia-1 ve SAT-2 serotipleri bildirilmiştir. Şap hastalığı bildirimi zorunlu hastalıktır. Üç Gün Hastalığı (Bovine Ephemeral Fever, BEF) etkeni ise *Rhabdoviridae* ailesi içindeki *Ephemerovirus* cinsine aittir. Şap hastalığı ve BEF hayvan sağlığı açısından önemli bir sorun oluştururken, halk sağlığı veya gıda güvenliği için doğrudan bir tehdit oluşturmayabilirler. Özellikle 2025 yılının Ağustos ayından itibaren her iki hastalığın eş zamanlı olarak ortaya çıkması ve aynı bölgelerde, hatta aynı ahırlarda görülmesi, gıda arzı ve güvenliği ile ürün kalitesi üzerinde dolaylı etkilere yol açabilecek önemli bir potansiyele sahiptir. Salgınların ve eş zamanlı enfeksiyonların en önemli sonuçlarından biri, veteriner ilaçlarının kullanımının artmasıdır; bu ilaçların kullanım sürelerine uygun şekilde uyulmaması süt ve et ürünlerinde kalıntılara yol açabilir. Ayrıca, Şap hastalığı veya Üç Gün hastalığı olan hayvanlarda yem alımında azalma ve kondisyonda bozulma görülür, bu da karkas kalitesinin düşmesine neden olur. Salgınlar sırasında, ikincil enfeksiyonlar, stres ve acil kesimler hijyen standartlarını ve denetimleri tehlikeye atabilir. Bu nedenle, bu hastalıklar gıda kaynaklı olmasa da sahada eş zamanlı olarak ortaya çıkmaları, üretim zinciri içindeki yönetim zorlukları, hijyen sorunları ve ilaç kalıntısı riskleri yoluyla gıda güvenliğini dolaylı olarak tehdit edebilir. Şap hastası hayvanlardan elde edilen çiğ süt, enfeksiyonun klinik belirtileri ortaya çıkmadan önce bile yüksek miktarda şap virüsü içerebilir. Enfekte hayvanların karkas, lenf düğümleri, kemik iliği ve kanlarında şap virüsü bulunabilir. Halk sağlığı açısından, birincil endişe, yaygın insan hastalığı değil, hayvan dokularının işlenmesi, gıda hazırlanması ve uygunsuz şekilde imhası sırasında virüsün diğer hayvanlara bulaşma riskidir. Özetle, şap hastalığı ve üç günlük hastalığın eş zamanlı olarak görülmesi, yönetim, hijyen ve veteriner ilaç kalıntılarıyla ilgili riskleri artırarak gıda güvenliğini dolaylı olarak etkileyebilir. Bu derleme makale 2025 yılının son çeyreğinde sahada eş zamanlı olarak görülen Şap ve Üç Gün enfeksiyonlarının oluşturabileceği olumsuz etkilere dikkat çekmeyi ve alınabilecek önlemlere katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Şap Hastalığı, Dabak, Üç Gün Hastalığı, Hayvan Sağlığı, Halk Sağlığı

ABSTRACT

Foot-and-mouth disease (FMD) is caused by the Foot-and-mouth disease virus (FMDV), a member of the genus *Aphthovirus* within the family *Picornaviridae*. The virus has seven serotypes: O, A, C, SAT-1, SAT-2, SAT-3, and ASIA-1. In Türkiye, the A, O, Asia-1, and SAT-2 serotypes have been reported. FMD is a notifiable disease. The etiological agent of Three-Day Sickness (Bovine Ephemeral Fever, BEF) belongs to the genus *Ephemerovirus* within the family *Rhabdoviridae*. Although FMD and BEF pose directly to animal health but not to pose a direct threat to public health or food safety. Since August 2025, the simultaneous emergence of both diseases and their occurrence within the same regions—and even within the same barns—pose a significant potential to cause indirect impacts on food supply, food safety, and product quality. One of the most significant consequences of outbreaks is the increased use of veterinary pharmaceuticals, which, if withdrawal periods are not properly observed, may lead to residues in milk and meat products. Additionally, animals affected by FMD or BEF often experience reduced feed intake and deterioration in body condition, resulting in lower carcass quality. During outbreaks, secondary infections, stress, and emergency slaughter can further compromise hygiene standards and inspection procedures. Therefore, while these diseases are not foodborne, their concurrent occurrence in the field can indirectly threaten food safety through management difficulties, hygiene issues, and drug residue risks within the production chain. Raw milk from animals infected with foot-and-mouth disease (FMD) may contain high levels of FMD virus even before clinical signs of infection appear. FMD virus can be found in the carcasses, lymph nodes, bone marrow, and blood of infected animals. From a public health perspective, the primary concern is not widespread human illness, but the risk of virus transmission to other animals during the processing of animal tissues, food preparation, and improper disposal. In summary, the co-occurrence of Foot-and-mouth disease and Three-Day Sickness may indirectly affect food safety by increasing the risks related to management, hygiene, and veterinary drug residues. This review article aims to draw attention to the potential negative impacts of concurrent Foot-and-Mouth Disease (FMD) and Three-Day Sickness infections in the field during the last quarter of 2025, and to contribute to the prevention of such infections.

Keywords: Animal Health, Bovine Ephemeral Fever, Food Safety, Foot and mouth Disease, Public health

GİRİŞ

Şap hastalığı (FMD), *Picornaviridae* ailesine ait bir Aphthovirus olan Foot and Disease Virus (FMDV) tarafından neden olunur ve sığır, koyun, keçi, domuz ve diğer çift tırnaklı hayvanları etkiler. Hastalık, ateş ve veziküler lezyonlarla karakterize olup, ciddi verimlilik kayıplarına ve ticaret kısıtlamalarına yol açar. Enfekte olan hayvanlarla direk temas ve aerosol yol bulaşmada en etkili yol olarak bilnmektedir. Hasta hayvanlar hemen hemen tüm ekstret ve sekretleri (süt, semen, burun ve göz akıntısı, idrar, dışkı vd.) ile virüs saçarlar (Aşkaroğlu vd., 2010). Kontamine hayvansal ürünler ve özellikle de süt ve süt ürünleri ve kontamine etler bulaşmada diğer önemli etkenlerdir. FMDV, klinik belirtiler ortaya çıkmadan 3-4 gün öncesine kadar süt

yoluyla saçılabilir ve bu da sessiz yayılma riskini artırır (Aşkaroğlu v., 2010, WOAH, 2023; FAO, 2011).

Şap hastalığı (Dabak, Tabak, Foot and Mouth Disease-FMD), önemli ekonomik kayıplara neden olan ve gıda güvenliği ve uluslararası ticaret için büyük zorluklar oluşturan, çift tırnaklı hayvanların oldukça bulaşıcı bir viral hastalığıdır. Şap hastalığı, hayvanlardan insanlara bulaşan viral bir enfeksiyondur; ancak insan vakaları nadirdir ve genellikle hafif seyreder (Heymann, 2022). Bundan dolayı hayvanların Şap hastalığı ciddi bir zoonotik tehdit olarak kabul edilmemektedir. Hastalık bulaşan insanlar da hafif şiddette lezyonlarla karakterize enfeksiyonlara neden olduğu bildirilmiştir (WHO, 2023). Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü'ne (WOAH) göre, insanlar şap hastalığı virüsü ile enfekte olabilir, ancak bulaşmada önemli bir rol oynamazlar (WOAH, 2022). Özellikle enfekte hayvanlarla Veteriner Hekimler gibi mesleki temasta bulunan kişiler arasında nadir insan enfeksiyonları bildirilmiştir (FAO ve WOAH, 2012). Uygun kontrol önlemleri uygulanmadığı takdirde hayvansal ürünler virüsün yayılması için taşıyıcı görevi görebilir. Bu derleme, Şap Hastalığı virüsünün (FMDV) varlığını özetlemekte, virüsün etkisiz hale getirilmesi için dezenfeksiyon, hayvansal ürünlerin sterilizasyonu ve et ve süt ürünleri işleme yöntemlerinin etkinliğini değerlendirmekte ve Dünya Hayvan Sağlığı Örgütü (WOAH), Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) ve Codex Alimentarius Komisyonu gibi uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen gıda güvenliği protokollerini tartışmaktadır.

Sığırların Üç Gün hastalığı (Bovine Ephemeral Fever- BEF) öncelikle sığırları etkiler. Yaban hayatında su aygırları ve geyiklerde ise subklinik enfeksiyonlar belgelenmiştir. Koyun, keçi ve develer ile diğer evcil geviş getiren hayvanlar BEF virüsüne duyarlı değildir, ancak antikor varlığı bildirilmiştir. BEF özellikle yoğun yağışlı mevsimlerden sonra daha yaygın olma eğilimindedir ve sivrisinekler (Culucoides, Anapheles ve Culex) ile hematofaj sinekler tarafından bulaştırılır. Asya, Afrika ve Doğu Avustralya'nın tropikal ve subtropikal bölgelerinde bulunur. Amerika kıtasında veya Avrupa'da (Türkiye'nin bazı bölgeleri hariç) bildirilmemiştir (Alkan vd., 2024; Walker, 2005; Walker, 2008). BEF, Türkiye'de bölgesel olarak yaklaşık her 4-5 yılda bir görülmekte olup, 2020 yılının ardından 2025 yılında yeniden bildirilerek literatüre uyumlu olarak seyrine devam etmiştir.

Hem Şap hem de Üç gün Hastalığına karşı koruyucu etkinlikte aşılar Türkiye'de ve dünya genelinde mevcuttur (Aşkaroğlu v., 2010, Ayvazoğlu ve Ayvazoğlu, 2022; VKEM-ŞEM, 2025).

2. HAYVANCILIK ve HAYVAN SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLER

2025 yılında Şap ve Üç Gün Hastalıklarının aynı anda ve aynı bölge ve ahırlarda ortaya çıkması gerek hayvancılık ekonomisi açısından olumsuzluklara neden olmuş ve gerekse de Şap hastalığı koruyucu aşı uygulamalarında aksaklıklar meydana getirmiştir,

Şap hastalığı, ağrılı lezyonlar, üretim kayıpları ve genç hayvanlarda artan ölüm oranları yoluyla hayvan sağlığını ciddi şekilde tehlikeye atarken, ticaret yasakları, kontrol maliyetleri ve azalan hayvancılık verimliliği nedeniyle de önemli ekonomik zararlara yol açmaktadır (Grubman ve Baxt, 2004; Knight-Jones ve Rushton, 2013; WOAH, 2023).

2.1. Hayvan Sağlığı Üzerindeki Direk Etkileri

Şap hastalığı (FMD), sığır, koyun, keçi, domuz ve yabani toynaklılar gibi çift tırnaklı hayvanları etkileyen oldukça bulaşıcı bir viral hastalıktır. Klinik olarak hastalık, ateş, aşırı tükürük salgısı ve ağız, dil, dudaklar, meme uçları ve ayaklarda kabarcık ve erozyonların gelişmesiyle karakterize edilir. Bu lezyonlar şiddetli ağrıya neden olarak topallığa, yem alımında azalmaya ve verimlilikte keskin düşüşlere yol açar (Aşkaroğlu vd., 2010; WOAH, 2023).

Yetişkin ölüm oranları genellikle düşük olsa da genç hayvanlarda miyokardit (tiger heart disease- kaplan kalbi hastalığı) nedeniyle yüksek ölüm oranları görülebilir. Süt sığırlarında şap hastalığı, klinik iyileşmeden uzun süre sonra bile devam edebilen süt veriminde dramatik düşüşlere neden olur. İkincil bakteriyel enfeksiyonlar, üreme bozuklukları ve uzun süreli vücut kondisyonu kaybı, hayvan sağlığını ve refahını daha da tehlikeye atar (FAO ve WOAH 2012; Grubman ve Baxt, 2004).

2.2. Ekonomik Etkiler

Şap hastalığı, yıkıcı ekonomik sonuçlara yol açarak, küresel ölçekte en önemli sınır ötesi hayvan hastalıklarından biri haline gelmiştir. Doğrudan ekonomik kayıplar, süt ve et üretiminde azalma, kilo kaybı, kısırlık, genç hayvanlarda ölüm ve veteriner tedavisi ve aşılama ile ilgili maliyetlerden kaynaklanmaktadır (Knight-Jones ve Rushton, 2013).

Dolaylı kayıplar genellikle daha da önemlidir ve ticaret kısıtlamaları, canlı hayvanlara ve hayvansal ürünlere ambargo, imha politikalarının (itlaf ve imha) maliyetleri, gözetim, tazminat ve hayvancılık sektörlerinin uzun vadeli toparlanmasını içerir. Büyük şap hastalığı salgınları, İngiltere, Asya ve Güney Amerika'daki salgınlarda belgelendiği gibi milyarlarca dolarlık kayıplara yol açmıştır (Thompson vd., 2002; FAO, 2011).

Endemik bölgelerde şap hastalığı, hayvancılık gelişimine sürekli bir engel teşkil etmekte ve özellikle küçük ölçekli çiftçileri gelir, gıda güvenliği ve uluslararası pazarlara erişim açısından olumsuz etkileyerek orantısız bir şekilde zarar vermektedir (FAO ve WOAH, 2012).

3. HALK SAĞLIĞI ÜZERİNE POTANSİYEL ETKİLER

3.1. Halk Sağlığı Açısından Önemi

Şap hastalığı (FMD) büyük bir gıda kaynaklı hastalık olarak kabul edilmese de çiğ hayvansal ürünlerde bulunması şu riskleri oluşturmaktadır:

- İnsanlar için düşük ancak mevcut bir zoonotik risk,
- Gıda tedarik zincirlerinin bozulması yoluyla önemli bir dolaylı halk sağlığı tehdidi,
- Hayvanlar arası bulaşma riski, salgınları ciddi sosyoekonomik sonuçlarla şiddetlendirebilir (Knight-Jones ve Rushton, 2013).

Bu nedenle hem halk hem de hayvan sağlığını korumak için süt pastörizasyonunun, et muayenesinin, kontrollü kesimin ve biyolojik güvenlik önlemlerinin sıkı bir şekilde uygulanması şarttır (Codex Alimentarius Komisyonu, 2004; WOAH, 2023).

3.2. Sütte Şap Hastalığı Virüsünün Bulunması

Şap hastalığı bulaşmış hayvanlardan elde edilen çiğ (pastörize edilmemiş) süt, özellikle enfeksiyonun erken evrelerinde, klinik belirtiler ortaya çıkmadan önce bile yüksek

konsantrasyonlarda şap virüsü içerebilir. Birçok çalışma ve uluslararası değerlendirme, FMDV'nin enfeksiyonun kuluçka ve klinik aşamalarında çiğ sütte bulunabileceğini göstermiştir. Sütte virüs salgılanması, görünür lezyonların ortaya çıkmasından 1-4 gün önce gerçekleşebilir, bu da erken teşhisi zorlaştırır (WOAH, 2023). Virüs, tam yağlı sütte, yağsız sütte ve kremada kalıcı olabilir; süt yağı ise ısıya ve çevresel stres faktörlerine karşı kısmi koruma sağlar (FAO, 2011). Virüs, yeterli ısı işlemi veya olgunlaştırma süreçleri uygulanmadığı takdirde çiğ sütte ve bazı geleneksel süt ürünlerinde hayatta kalabilir (Codex Alimentarius Komisyonu, 2004; FAO, 2011).

Pastörizasyon ve ultra yüksek sıcaklık (UHT) işlemleri, şap virüsünü etkisiz hale getirmede etkilidir ve ticari olarak işlenmiş süt ve süt ürünlerini insan tüketimi için güvenli hale getirir. Buna karşılık, çiğ süt tüketimi, özellikle çiftlik işçileri, süt işleyicileri ve kayıt dışı süt pazarlarındaki tüketiciler için potansiyel bir zoonotik risk oluşturmaktadır (FAO & WOAH, 2012).

3.3. Sütte Şap Virüsünün Isıl İşlemle İnaktivasyonu

3.3.1. Süt Pastörizasyonunda Isıl İşlem Yöntemleri

Isıl işlem, sütün mikrobiyolojik güvenliğini sağlamak için kullanılan birincil yöntemdir. Bununla birlikte, şap virüsünün belirli ısıl işlemlere karşı direnci, işlem parametrelerinin sıkı bir şekilde doğrulanmasını gerektirir.

Standart pastörizasyon işlemleri (30 dakika boyunca 63°C veya 15 saniye boyunca 72°C) viral yükü azaltabilir, ancak özellikle daha yüksek yağ içeriğine sahip sütlerde şap virüsünün tamamen inaktivasyonunu sağlamak için sürekli olarak yeterli değildir (Codex Alimentarius Komisyonu, 2004). Buna karşılık, ultra yüksek sıcaklık (UHT) işlemi (≥135°C ≥1 saniye) ve ticari sterilizasyonun (≥121°C ≥15 dakika) virüsü güvenilir bir şekilde etkisiz hale getirdiği gösterilmiştir (WOAH, 2023).

3.3.2. pH ve Fermantasyonun Etkisi

Şap hastalığı virüsü (FMDV) asidik ortamlara duyarlıdır ve pH seviyeleri 6.0'ın altında hızla etkisiz hale gelir. Bu nedenle, yeterli pH düşüşü ve olgunlaşma süresi sağlandığı takdirde, yoğurt ve olgunlaştırılmış peynirler gibi fermente süt ürünleri daha düşük risk oluşturabilir. Bununla birlikte, daha yüksek pH'a ve kısa olgunlaşma sürelerine sahip taze peynirler, çiğ veya yetersiz işlenmiş sütten üretilmişse yine de risk oluşturabilir (FAO, 2011; WOAH, 2023).

4. Süt Ürünleriyle İlişkili Risk

Şap hastalığı virüsünün bulaşma riski süt ürünleri arasında farklılık gösterir. Çiğ süt en yüksek riski temsil eder ve şap hastalığından etkilenen bölgelerde ticareti yasaktır. Pastörize süt, işleme koşulları yetersiz olduğunda orta derecede risk taşırken, UHT süt ve uygun şekilde sterilize edilmiş süt ürünleri güvenli kabul edilir. Tereyağı ve krema, yağ içerikleri nedeniyle canlı virüsü daha uzun süre tutabilir; bu da onaylanmış işleme koşullarına duyulan ihtiyacı vurgular (Codex Alimentarius Komisyonu, 2004).

5. Çiğ Et ve Et Ürünleri

Enfekte hayvanlardan elde edilen taze et, özellikle lenf düğümlerinde, kemik iliğinde ve kalan kanda şap virüsü barındırabilir. Virüs, ölüm sonrası asitlenme (pH düşüşü) nedeniyle uygun

şekilde olgunlaşmış ette iyi hayatta kalamasa da çiğ, az pişmiş veya uygunsuz şekilde işlenmiş et ürünleri canlı virüsü koruyabilir (WOAH, 2023).

Halk sağlığı açısından, çiğ etle ilgili birincil endişe, yaygın insan hastalığı değil, hayvan dokularının işlenmesi, gıda hazırlanması ve uygunsuz şekilde imha edilmesi yoluyla virüsün bulaşma riskidir; bu da hastalığın hayvanlar arasında daha fazla yayılmasını kolaylaştırabilir (Thompson vd., 2002).

6. Şap Hastalığı Etkilenen Bölgelerde Gıda Güvenliği Protokolleri

6.1. Çiftlik İçi Önlemler

Uluslararası kılavuzlar, acil hareket kısıtlamalarını, enfekte hayvanların tecritini ve enfekte veya şüpheli sürülerden elde edilen sütün kullanımının yasaklanmasını vurgulamaktadır. Sağım ekipmanları, depolama tankları ve nakliye araçları, onaylanmış virüs öldürücü maddeler kullanılarak iyice temizlenmeli ve dezenfekte edilmelidir (WOAH, 2023).

6.2 Süt Toplama, Taşıma ve İşleme

Şap hastalığı etkilenen bölgelerden süt toplama, şap hastalığından arındırılmış alanlardan sıkı bir şekilde ayrılmayı gerektirir. Süt işleme tesislerine, özellikle salgınlar sırasında, yalnızca sertifikalı kaynaklardan süt kabul etmeleri ve onaylanmış ısı işlemlerini uygulamaları tavsiye edilir. Atık su ve yan ürünler de virüsün çevresel yayılımını önlemek için arıtılmalıdır (FAO, 2011).

7. Uluslararası Düzenlemeler ve Standartlar

WOAH Karasal Hayvan Sağlığı Kodu, belirli virüs inaktivasyon işlemleri uygulanmadığı sürece, şap hastalığı bulaşmış bölgelerden çiğ süt ve süt ürünlerinin hareketini ve ticaretini kısıtlamaktadır. Codex Alimentarius kılavuzları, izlenebilirlik, termal doğrulama ve süreç kontrolünü vurgulayan Tehlike Analizi ve Kritik Kontrol Noktası (HACCP) sistemleri aracılığıyla bu önlemleri desteklemektedir. FAO ayrıca, şap hastalığının yayılmasının kontrolünde entegre çiftlikten sofraya biyolojik güvenlik önlemlerinin rolünü vurgulamaktadır (WOAH, 2023; FAO, 2011; Codex Alimentarius Komisyonu, 2004).

8. Halk Sağlığı Dikkate Alınması Gerekenler

Şap hastalığı virüsü (FMDV) ile insan enfeksiyonu nadir ve genellikle hafif seyrederken, öncelikli endişe hayvan sağlığı, gıda güvenliği ve ekonomik istikrardır. Sonuç olarak, şap hastalığı ile ilgili gıda güvenliği protokolleri, insan tüketicilerini hastalıktan korumaktan ziyade hayvan popülasyonları arasında virüs bulaşmasını önlemeye odaklanmaktadır (FAO, 2011).

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Şap Hastalığı ile Üç Gün Hastalığının aynı bölge ve hatta aynı ahırlarda eş zamanlı olarak görülmesi ve sahada yayılım göstererek ilerlemesi, hayvan sağlığını belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir. Bu iki hastalığın zamansal ve bölgesel olarak örtüşmesi; hayvan sağlığı, çiftlik verimliliği ve kırsal gelirler açısından riskleri artırmaktadır. Bu nedenle, hayvan sahiplerinin ve yetiştiricilerin yüksek düzeyde biyogüvenlik önlemleri uygulamaları, gelişmelere hızlı ve kontrollü şekilde müdahale edebilecek bir alarm ve hazırlık düzeyinde olmaları önemle tavsiye edilmektedir.

Şap hastalığı (FMD), Şap hastalığı virüsü (FMDV) tarafından neden olunan, çift tırnaklı hayvanlarda görülen oldukça bulaşıcı bir viral hastalıktır. Şap hastalığı öncelikle hayvan sağlığı ve ekonomik bir hastalık olmakla birlikte, özellikle enfekte hayvanlardan elde edilen çiğ veya işlenmemiş hayvansal ürünlerin kullanımı ve tüketimi yoluyla halk sağlığı açısından da önem taşımaktadır (WOAH, 2023).

İnsanlarda şap hastalığı enfeksiyonu nadirdir ve genellikle hafif seyreder; ancak, özellikle endemik bölgelerde, enfekte hayvanlarla doğrudan temas veya pastörize edilmemiş süt ve işlenmemiş hayvansal ürünlerin tüketimi yoluyla maruz kalma olasılığı vardır (WHO, 2023).

Süt ve süt ürünleri, şap hastalığının epidemiyolojisinde kritik bir rol oynamaktadır. Çiğ süt, özellikle salgınlar sırasında virüs bulaşması için önemli bir risk oluşturmaktadır. Geleneksel pastörizasyon FMDV'yi tamamen etkisiz hale getiremese de UHT işleme ve sterilizasyon etkili kontrol önlemleridir. Gıda güvenliğini sağlamak, hayvan sağlığını korumak ve uluslararası ticareti sürdürmek için WHO, FAO ve Codex Alimentarius tarafından belirlenen uluslararası standartlara uyum şarttır.

Aşı uygulamaları aksatılmamalıdır. Şap hastalığına karşı sürü bağışıklığının sağlanması, genel olarak yüksek öncelik taşıyan bir koruyucu sağlık uygulaması olarak kabul edilmektedir. Diğer enfeksiyöz hastalıkların sahada dolaşımda bulunmasına rağmen, mevcut bir Şap salgınının varlığı durumunda, öncelikle sağlıklı hayvanlarda rutin Şap aşılamasına devam edilmesi uygun ve kabul gören bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

Aşılama sırasında temel ilke olarak yalnızca klinik açıdan sağlıklı hayvanlar aşılanmalıdır. Nitekim 2025 yılı Ağustos ayı sonrasında Şap hastalığının, Üç Gün Hastalığı (Bovine Ephemeral Fever) ile birlikte görülmesi bu duruma örnek teşkil etmiştir. Saha uygulamalarında, Üç Gün Hastalığı veya başka herhangi bir aktif hastalığı bulunan hayvanlara aşı uygulanmamış; bu hayvanlar sağlıklı bireylerden ayrılarak iyileşmeleri tamamlanıncaya kadar izole edilmiştir. Hastalığı atlatan ve klinik olarak tamamen iyileşen hayvanların ertelenmiş aşıları ise iyileşmeyi takiben üçüncü haftadan itibaren tamamlanmıştır.

Ülkemizde gerek T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Türkiye Şap Enstitüsü Müdürlüğü gerekse özel sektör tarafından üretilen, yüksek etkinlik ve koruyuculuğa sahip inaktif Şap aşıları ile Üç Gün Hastalığı otovaksinleri bulunmaktadır ve bu aşılar saha koşullarında başarıyla kullanılmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Alkan, F., et al., Assessment of the molecular epidemiology of bovine ephemeral fever in Türkiye, Veterinarski Arhiv, 87(6), 665–675, 2017.
2. Aşkaroğlu H.H., Gümüştepe C.G., Adıgüzel, A., Aktaş, S., Bulut, N. Şap Hastalığı ile Mücadele El Kitabı. 2010.
3. Ayvazoğlu, C. ve Ayvazoğlu Demir, P., Bovine ephemeral fever in Türkiye and its economic effect, Van Veterinary Journal, 33(3), 71–75, 2022. DOI: 10.36483/vanvetj.1141040.

4. FAO/WHO. Codex Alimentarius Commission. Alimentarius Commission. Code of Hygienic Practice for Milk and Milk Products (CAC/RCP 57-2004). Rome: FAO/WHO, 2004.

5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Guide to Good Dairy Farming Practice. Animal Production and Health Guidelines. Rome: FAO, 2011.

6. FAO. Guide to Good Dairy Farming Practice. Animal Production and Health Guidelines. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.

7. FAO; OIE (WOAH). The global foot-and-mouth disease control strategy: strengthening animal health systems through improved control of major diseases. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; Paris: World Organisation for Animal Health, 2012.

8. Grubman, Marvin J.; Baxt, Barry. Foot-and-mouth disease. Clinical Microbiology Reviews, 2004, 17(2), 465–493.

9. Heyman, David L. Control of communicable diseases manual. 21st ed. Washington, DC: American Public Health Association (APHA), 2022.

10. Knıght-Jones, Theo J. D.; Rushton, Jonathan. The economic impacts of foot and mouth disease – What are they, how big are they and where do they occur? Preventive Veterinary Medicine, 2013, 112(3–4), 161–173.

11. Şap Enstitüsü (VKEM-ŞEM). Turvac-Oil Şap Aşısı Prospekstüsü. https://vetkontrol. tarimorman.gov.tr/sap/Belgeler/sapasiprospektus.pdf. Erişim Tarihi: 04.12.2025

12. [a]Tekelioğlu, B. K., Çiftçiye Kritik Uyarı. https://www.referansturk.com. tr/haber/ 26507114/ciftciye-kritik-uyari

13. [b]Tekelioğlu, B. K., Üç Gün Hastalığında Rehavete Kapılmayın. https://www.referansturk.com.tr/haber/26982302/uc-gunde-rehavete-kapilmayin

14. Thompson, David et al. Economic costs of the foot and mouth disease outbreak in the United Kingdom in 2001. Revue Scientifique et Technique (OIE), 2002, 21(3), 675–687.

15. Walker, P. J., Bovine ephemeral fever in Australia and the world, Current Topics in Microbiology and Immunology, 292, 57–80, 2005. DOI: 10.1007/3-540-27485-5_4.

16. Walker, P. J., Bovine ephemeral fever virus, içinde: Encyclopedia of Virology, 3. Baskı, Elsevier, 2008.

17. World Organisation for Animal Health (WOAH). Foot and mouth disease (infection with foot and mouth disease virus). Terrestrial Animal Health Code – Disease Information. Paris: WOAH, 2022.

18. World Health Organisation (WHO). Zoonoses. Geneva: World Health Organization, 2023. Available from: WHO technical fact sheets and zoonotic disease guidance documents.

19. World Organisation for Animal Health (WOAH). Terrestrial Animal Health Code: Foot and Mouth Disease. Paris: WOAH, 2023.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ÜÇ GÜN HASTALIĞI; BOVINE EPHEMERAL FEVER
THREE-DAY SICKNESS; BOVINE EPHEMERAL FEVER

Doç. Dr. Bilge Kaan TEKELİOĞLU
Çukurova Üniversitesi Ceyhan Veteriner Fakültesi,
Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye
ktekelioglu@cu.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6727-3175

ÖZET

Bilinen en yaygın adıyla sığırların Üç Gün hastalığı (Bovine Ephemeral Fever- BEF), farklı adlarla da bilinen bir hastalıktır ve daha az yaygın olarak *Sığırların Geçici Ateşi, Bovine Three-Day Sickness, Bovine Enzootic Fever, Bovine Influenza* veya *Stiffsikte* olarak da adlandırılır. Hastalık, Rhabdoviridae ailesi içinde yer alan Ephemerovirus cinsine ait bovine ephemeral fever virus (BEFV) tarafından oluşturulur. BEF, genellikle üç gün içinde gelişen ani başlangıcıyla karakterizedir ve ateş, topallık ve hareketsizlik gibi akut klinik belirtilerle seyreder. BEFV başlıca Asya, Afrika ve Avustralya'nın doğusu gibi tropikal ve subtropikal bölgelerde görülmektedir. Amerika kıtası ve Avrupa'da bildirilen vaka bulunmamakla birlikte, Türkiye'nin bazı bölgelerinde hastalık rapor edilmiştir. BEF, sığır yetiştiriciliği açısından önemli ekonomik kayıplara yol açmaktadır. BEFV enfeksiyonu; ani ateş yükselmesi, iştahsızlık, rumen stazı ve topallığa neden olur ve sıklıkla süt veriminde kalıcı düşüşle ilişkilidir. Mortalite oranı genellikle düşük (%1–2) olmakla birlikte, iyi kondisyonlu besi sığırlarında ve yüksek verimli süt ineklerinde daha yüksek oranlar bildirilmektedir. Klinik belirtiler arasında hızlı başlayan ateş, kas sertliği, topallık, burun ve göz akıntısı yer alır. Hastalık sıklıkla hipokalsemi ile ilişkilidir ve depresyon, rumen hareketlerinin durması, kas titremeleri ve konstipasyon gibi belirtilerle kendini gösterir. Ayrıca taşikardi, eklem ağrısı ve seröz ya da muköz burun akıntısı da gözlenebilir. İyileşen ineklerde dahi süt verimi çoğu zaman eski düzeyine ulaşamaz ve bazı hayvanlarda pnömoni veya mastitis gibi komplikasyonlar gelişebilir. BEF hastalığının kontrolünde başlıca önlemler arasında vektör (insekt) mücadelesi yer almaktadır. Birçok ülkede hastalığın yayılımını önlemek amacıyla hayvan hareketlerine yönelik kısıtlamalar uygulanmaktadır. Türkiye'de ve dünya genelinde BEF'e karşı aşılar mevcuttur. 2025 yılının Ağustos ayından itibaren bölgesel olarak sahada Üç Gün hastalığı ve Şap hastalığı (Dabak, FMD) birlikte saptanmış ve yayılarak ilerlemişlerdir. Her iki hastalığın birlikte görülmesi hayvan sağlığı ve ekonomisi için önemli olumsuz sonuçlara neden olmuştur. Bu iki hastalık aynı anda ve aynı sürüde birlikte görüldüğünde, hayvan sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçlar daha da artmakta ve ekonomik zarar, her bir hastalığın tek başına yol açtığı zararlardan çok daha büyük olabilmektedir. Bu iki hastalığın örtüşmesi, hayvan sağlığı, çiftlik verimliliği ve kırsal gelirler için riskleri artırmaktadır. Bu derleme makale sığırların Üç Gün Hastalığını güncel verilerle yeniden gözden geçirmeyi amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Üç Gün Hastalığı, Bovine Three-Day Sickness, Bovine Ephemeral Fever, Ephemerovirus, Foot and Mouth Virus, Türkiye

ABSTRACT

Bovine Ephemeral Fever (BEF), also known by various other names, less commonly referred to as *Bovine Transient Fever, Bovine Three-Day Sickness, Bovine Enzootic Fever, Bovine Influenza, or Stiffsikte,* is a disease caused by the bovine ephemeral fever virus (BEFV), belonging to the *Ephemerovirus* genus within the *Rhabdoviridae* family. BEF is characterized by a sudden onset, usually within three days, and presents with acute clinical signs such as fever, lameness, and lethargy. BEFV is primarily found in tropical and subtropical regions such as Asia, Africa, and eastern Australia. While no cases have been reported in the Americas or Europe, the disease has been reported regionally in Türkiye. BEF causes significant economic losses in cattle breeding. BEFV infection leads to a sudden rise in fever, anorexia, rumen stasis, and lameness, and is often associated with a permanent decrease in milk yield. Mortality rates are generally low (1–2%), although higher rates are reported in well-conditioned beef cattle and high-yielding dairy cows. Clinical signs include rapidly onset fever, muscle rigidity, lameness, and nasal and ocular discharge. The disease is often associated with hypocalcemia and manifests with symptoms such as depression, cessation of rumen motility, muscle tremors, and constipation. Tachycardia, joint pain, and serous or mucous nasal discharge may also be observed. Even in recovering cows, milk production often does not reach its previous level, and some animals may develop complications such as pneumonia or mastitis. The main control measures for BEF include vector (insect) control. Many countries have implemented restrictions on animal movement to prevent the spread of the disease. Vaccines against BEF are available in Türkiye and worldwide. Since August 2025, three-day sickness and foot-and-mouth disease (FMD) have been detected and spread regionally in Türkiye. The simultaneous occurrence of both diseases has had significant negative consequences for animal health and the economy. When these two diseases occur simultaneously and in the same herd, the negative consequences on animal health are further amplified, and the economic damage can be far greater than that caused by either disease alone. The overlap of these two diseases increases the risks to animal health, farm productivity, and rural incomes. This review article aims to re-examine Bovine Ephemeral Fever (Three-Day Sickness) in cattle with current data.

Keywords: Bovine Three-Day Sickness, Bovine Ephemeral Fever, Ephemerovirus, Foot and Mouth Virus, Türkiye

GİRİŞ

Sığırların Üç Gün hastalığı (Bovine Ephemeral Fever- BEF) birçok farklı isimle anılmaktadır. Bu isimler Sığır Geçici Ateşi, Üç Günlük Hastalık, Sığır Epizootik Ateşi, Üç Günlük Sertlik Hastalığı, Ejderha Teknesi Hastalığı, Tembel Adam Hastalığı, Sığır Dengue Ateşi'dir. BEF virüsü Asya, Afrika ve Doğu Avustralya'nın tropikal ve subtropikal bölgelerinde bulunur. Amerika kıtasında veya Avrupa'da (Türkiye'nin bazı bölgeleri hariç) bildirilmemiştir (Alkan vd., 2024; Walker, 2005; Walker, 2008).

Bu hastalık öncelikle sığırları etkiler, Afrika ve Arap Yarımadası'ndaki birçok ülkenin yanı sıra Hindistan, Endonezya, Tayvan, Japonya, Avustralya ve Türkiye'de de görülmektedir (Abayli vd., 2023; Alkan vd., 2017; Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022; Erol vd., 2015; Karayel-Hacioğlu vd., 2020; Girgin vd., 1986; Tomori vd., 1974; Tonbak vd., 2012; Walker 2005). BEF, Türkiye'de bölgesel olarak yaklaşık her 4-6 yılda bir görülmekte olup, 2020 yılının ardından

2025 yılında yeniden bildirilerek literatüre uyumlu olarak görülme sıklığında seyrine devam etmiştir. Sığırların aksine, su aygırlarında ve geyiklerde de subklinik enfeksiyonlar belgelenmiştir. Bununla birlikte, koyunlar, develer ve diğer evcil geviş getiren hayvanların klinik olarak hastalanmadıkları ve BEF virüsüne karşı antikor geliştirdikleri de bildirilmiştir. Bu enfeksiyon, yoğun yağışlı mevsimlerden sonra daha yaygın olma eğilimindedir ve eklembacaklılar (sokucu emici sinekler ve sivrisinekler) tarafından bulaştırılır. Vektörler tam olarak tanımlanmamış olsa da, BEF virüsü *Culicoides* cinsine ait çeşitli sinek türlerinden ve sivrisineklerden izole edilmiştir, *Anapheles* ve *Culex* sivrisinekleri ile diğer ahır sineklerinin de özellikle rüzgarla dağılarak bulaşmada etkili oldukları bildirilmiştir (Abayli vd., 2023; Alkan vd., 2017; Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022; Erol vd., 2015; Karayel-Hacioğlu vd., 2020; Kamp vd., Tonbak vd., 2012; Walker 2005). BEF hastalığına karşı koruyucu otovaksinler ve monovalan aşılar Türkiye'de ve dünya genelinde mevcuttur (Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022).

2. ETİYOLOJİ

2.1. Rabdovirüslerin Genel Özellikleri

Rabdovirüsler, omurgalıları, omurgasızları ve bitkileri enfekte ettiği bilinen 175'ten fazla virüsü içeren büyük bir aileyi oluşturur. Bu ailedeki çok sayıda virüs arasında, en eski (MÖ 2300'e kadar uzanan bir geçmişe sahip) ve en ölümcül virüslerden biri olarak kabul edilen kuduz virüsü, *Rhabdoviridae* ailesine aittir. Bu aile içindeki altı cins, insanlarda, evcil ve vahşi hayvanlarda, balıklarda ve çeşitli bitkilerde hastalıklara neden olmaktan sorumludur. (Çizelge 1), (ICTV, 2023; Lecatsas vd., 1969; Monzon vd., 2018; Walker vd., 2015).

Çizelge 1: Ephemerovirus cinsinde yer alan virüs ismi ve duyarlı konak hayvan türleri (Yilmaz vd., 2013).

Cins	**Virüs**	**Duyarlı Konak Hayvanlar**
Ephemerovirus	Bovine ephemeral fever virüsü	Memeliler, Sığırlar (Bos Taurus, indicus ve javanicus) ve mandalar. Yaban hayatında subklinik olarak su aygırı ve geyikler. Deve, koyun ve keçi de antikor saptanmıştır fakat klinik enfeksiyon bildirilmemiştir.

2.2. Virion Yapısı

BEF virionları zarflı yapıdadır, ancak bu ailedeki bazı bitki virüslerinde zarf bulunmaz. Tipik olarak hafif pleomorfizm gösterirler ve mermi şeklinde bir yapıya sahiptirler. Çapları 45 ila 100 nanometre, uzunlukları ise 100 ila 430 nanometre arasında değişmektedir (Holmes & Doherty, 1970; Lecatsas vd., 1969; Murphy vd., 1972).

2.3. Genom ve Viral Proteinler

Rhabdovirüsler tek sarmallı negatif yönlü RNA genomuna sahiptir. Genom, kapsid içinde karmaşık bir şekilde organize edilmiş nükleoproteinlerle (N) ilişkilidir (Blasdell vd., 2020; Holmes & Doherty, 1970; Lecatsas vd., 1969; Murphy vd., 1972; Walker vd., 2015).

Viral proteinler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

- Yapısal Olmayan Proteinler (NS ve L): Bazen M1 veya P proteinleri olarak da adlandırılan bu proteinler, viral RNA'nın oluşumunda çok önemli bir rol oynar.
- Matriks Proteini (M): Matriks proteini, yapısal olmayan proteinlerin ve kapsidin etrafında yer alır ve virüsün yapısal bütünlüğüne katkıda bulunur.
- Spike (G proteini): Dış zarf üzerinde bulunan G glikoproteini, transkripsiyonda yer alan RNA polimerizasyonunda önemli bir rol oynar. Ek olarak, bağışıklık tepkisini uyaran ve nötralize edici antikorların üretimine yol açan epitoplar içerir.

Bu epitoplar, G proteinlerini rhabdovirüslere karşı rekombinant aşıların geliştirilmesi için önemli bir hedef haline getirir (Blasdell vd., 2020; Holmes & Doherty, 1970; Kemp vd., 1973; Lecatsas vd., 1969; Murphy vd., 1972; Walker, 2005; Walker, 2015).

2. 3. Epidemiyoloji

Sığırları Üç Gün hastalığı dünya genelinde sığırlarda ekonomik kayba yol açtığından dolayı önemli bir hastalık olarak kabul edilmektedir ve *Rhabdoviridae* ailesinin *Ephemerovirus* cinsine ait sığır geçici ateş virüsü tarafından neden oluşturulur. Genellikle hastalık semptomları üç gün içinde gelişir ve akut ateş, durgunluk ve topallık ile karakterizedir (Walker, 2015).

Ephemerovirüsler yalnızca sığırlarda ve sivrisinekler ile sokucu emici sinekler gibi hematofaj (kanla beslenen) böceklerde tanımlanmıştır (Walker, 2008; Walker & Klement, 2015). Ek olarak, kenelerde yapılan metagenomik dizileme, Ephemerovirus kent türü altında yer alan New Kent County virüsü (NKCV) adlı bir ephemerovirüsün keşfedilmesine yol açmıştır. Bununla birlikte, bu keşfin keneler içindeki aktif bir enfeksiyonla bağlantılı olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır (Alkan vd., 2017; Calisher vd., 1989; Monzon vd., 2018; Walker, 2015; Walker, 2008), (bkz. Tablo 2).

Sürü sağlığını olumsuz etkileyen ve kalıcı verim düşüklüğü ile ekonomik kayba neden olan Üç Gün hastalığı, Afrika, Avustralya ve Asya'nın çoğu tropikal ve subtropikal bölgesinde sığır ve bufalolar arasında yaygındır. Bu enfeksiyon, ani ateş yükselmesi, topallık, iştahsızlık ve rumen stazı ile karakterize olup, sonunda süt üretiminde sürekli bir azalmaya yol açar. Morbidite oranı çok yüksektir ve bazen %80-100'e kadar yükselebilir. Mortalite oranı genellikle düşük (%1-2 arasında) olmakla birlikte iyi durumdaki etlik sığırlarda ve yüksek verimli süt sığırlarında daha yüksek olma eğilimindedir (Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Tekelioğlu, 2020; Tonbak vd., 2012; Walker, 2005).

Kotonkan virüsü (KOTV), 9 ve 16 numaralı kaynaklarda belirtildiği gibi, Afrika'daki geçici ateş salgınlarıyla ilişkilendirilmiştir. *Ephemerovirus hayes* türü altında sınıflandırılan Hayes Yard virüsü (HYV), geçici ateşe benzeyen semptomlar gösteren bir Bos indicus türü boğadan izole edilmiştir (Blasdell vd., 2020; ICTV, 2023; Tomori vd., 1974).

2.4. Klinik Belirtiler

Hastalık, ani başlangıçlı ateş, sertlik, topallık ve burun ve göz akıntısı ile karakterizedir. BEF sıklıkla hipokalsemiye yol açar ve bu da depresyon, geviş getirmenin durması, kas titremeleri ve kabızlık gibi klinik belirtilere neden olur. Hastalığın patogenezi karmaşık olmakla birlikte, sitokin salınımı yoluyla aracılık edilen konakçının inflamatuar yanıtlarının hastalığın ortaya çıkmasında rol oynadığı görülmektedir (Abayli vd., 2023; Erol vd., 2015; Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Girgin vd., 1986; Tonbak vd., 2012; Walker, 2005).

Sığırlarda hafif veya şiddetli olarak ortaya çıkabilen bu enfeksiyonda, ölüm oranı genellikle düşüktür, ancak önemli sayıda hayvan etkilenir. Tipik olarak, enfeksiyon ani ateş yükselmesiyle başlar ve sıcaklık 12-18 saat içinde 41-42°C'ye kadar yükselir. Ardından ateş aniden düşer ve bazı hayvanlarda hareket sorunları ve depresyon hali bırakır. İkinci ve üçüncü günlerde semptomlar şiddetlenir ve aralıklı ateş devam eder. Etkilenen hayvanlarda depresyon, kalp atış hızında artış, eklem ağrısı ve burundan seröz ve mukuslu akıntı gibi belirtiler görülür. Hastalıktan iyileşen ineklerde süt üretimi genellikle önceki seviyelerine dönmez ve bazı hayvanlarda zatürre ve mastitis gibi komplikasyonlar görülebilir (Erol vd., 2015; Abayli vd., 2023; Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Girgin vd., 1986; Tonbak vd., 2012; Yılmaz vd., 2013; Walker, 2005).

2.5. Patogenez

Hastalığın patogenezi oldukça karmaşıktır ve konakta lenfokinlerin yükselmesiyle karakterize olup şiddetli yangıya yol açar. Hastalık yaygın doku hasarına neden olmasa da, plazma kalsiyum seviyelerinde önemli bir azalmaya ve nötrofil sayısında artışa neden olur. Enfekte hayvanlar, steroid olmayan antiinflamatuar ilaçlara ve kalsiyum infüzyonuna olumlu yanıt verir (Erol vd., 2015; Abayli vd., 2023; Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Girgin vd., 1986; Tonbak vd., 2012; Yılmaz vd., 2013; Walker, 2005).

2.6. Tedavi ve Bakım

Semptomatik tedavi genellikle antiinflamatuar ilaçlar ve kalsiyum tedavisi kullanımını içerir. Hasta hayvanların iyi bakım beslenmesi iyileşmeye yardımcı olur. Sakin ve havadar ahır istirahati gereklidir, en az bir hafta süreyle mera çıkışı engellenmeli ve hayvanlar istirahat etmelidir. Aksi durumlarda ölüm oranlarında artış görülebilir. Hareketsiz kalmış, yürüyemeyen, ayağa kalkamayan ve yan yatmış hayvanlar dolaşım kaybını ve kas hasarını önlemek için günde birkaç kez döndürülmelidir. Kalkamayan hayvanı askıya alarak kaldırmak, kan dolaşımının bozulmasını ve kas hasarını önler (Bendon, 2013). Hayvanda rumen stazı gibi hipokalsemi belirtileri varsa, IV kalsiyum boroglukonat verilebilir. Non - steroid antiinflamatuar ajanlar ateş ve ağrı kontrolü ile yangı önleyici olarak iyileşmeyi hızlandırabilir (Walker vd., 2025).

Görsel 1. Sığırların Üç Gün hastalığında hayvanı askıya alarak kaldırmak, kan dolaşımının bozulmasını ve kas hasarını önler. (Bendon, 2013). (Şekil 2) (Bendon, 2013)

2.7. Biyogüvenlik, Aşı ve Kontrol

Rabdovirüsler, viral zarfın hücre zarı ile birleşmesi yoluyla konakçı hücrelere girer ve tüm replikasyon sitoplazma içinde gerçekleşir. Genomik RNA'nın replikasyonunu takiben viral

proteinler sentezlenir ve hücre zarından tomurcuklanma yoluyla yeni viryonlar üretilir (Kemp vd., 1973; Holms vd., 1970; Lecatsas vd., 1969; Murphy vd., 1972). Çeşitli hücre kültürlerinde yetiştirilebilirler; özellikle aşı üretiminde Vero (Afrika yeşil maymun böbreği) ve BHK-21 (Bebek hamster böbreği) hücre kültürleri yaygındır (Murphy vd., 1972).

Hastalığın yaygın olduğu ülkelerde sivrisinek ve diğer hematofaj sinek ve böceklerin kontrol altına alınmasının etkili olduğu kanıtlanmıştır. Üç Gün hastalığı virüsü deterjanlara, dezenfektanlara, güneş ışığına ve UV ışınlarına karşı oldukça hassastır. Avustralya, Tayvan ve Japonya'da geliştirilen zayıflatılmış canlı aşılar, adjuvanlarla birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, özellikle G proteininde olmak üzere, farklı ülkelerden izole edilen virüste mutasyonlar gözlemlendiği ve bunun antijenik belirleyicilerde farklılıklara işaret ettiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, diğer ülkelerden elde edilen suşlar kullanılarak geliştirilen aşıların kullanımı, her bir bölge için daha fazla araştırma yapıldıktan sonra değerlendirilmelidir. Örneğin, ülkemizdeki 2008 ve 2012 salgınları sırasında izole edilen virüs ile Avustralya ve Tayvan'dan elde edilen suşlar arasında farklılıklar gözlemlenmiştir (Şekil 4'e bakınız). Bu konuyla ilgili devam eden çalışmalar sürdürülmektedir (Abayli vd., 2023; Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022; Erol vd., 2015; Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Girgin vd., 1986; Tonbak vd., 2012; Yılmaz vd., 2013; Walker, 2005; Walker, 2008). Birçok ülke hastalığı yönetmek için hareket kısıtlamaları uygulamıştır.

Aşılar Türkiye'de ve tüm dünyada erişilebilir durumdadır; ancak maliyetleri yaygın kullanımını sınırlamaktadır. Bugüne kadar, otovaksinler, canlı zayıflatılmış aşılar, inaktive aşılar, alt birim G protein bazlı aşılar ve rekombinant aşılar dahil olmak üzere beş tip BEF aşısı geliştirilmiştir. Uygulamada, canlı zayıflatılmış, inaktive ve alt birim aşılar en yaygın olarak kullanılmaktadır (Walker, 2005; Walker, 2008). Bu aşılar, ideal olarak hastalık bulaşma riskinin yüksek olduğu sonbahar mevsiminden (Temmuz-Ağustos-Eylül) bir ay önce, 21 günlük aralıklarla iki doz halinde uygulanır. Bu aşıların en az 6 ila 12 ay boyunca yüksek düzeyde koruma sağladığı bilinmektedir (Abayli vd., 2023; Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022; Tekelioğlu, 2020; Tonbak vd., 2012; Walker, 2005; Walker, 2008). Türkiye’de ithal aşıların yanı sıra yerli üretim liyofilize edilmiş canlı Üç Gün hastalığı otovaksini üretilmektedir. Hastalık mevsiminden en az bir ay önce her yaştaki sığır, buzağı ve buzağılara uygulanır. Serolojik ölçümlere göre 6-9 aylık koruma beklenmektedir (Abayli vd., 2023; Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022; Tekelioğlu, 2020; Tonbak vd., 2012; Walker, 2005; Walker, 2008).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sığırların Üç Gün hastalığı, 1986 yılından bu yana Türkiye'de 4-6 yıllık dönemler halinde salgınlar şeklinde bildirilmiştir. Hastalık son görüldüğü 2020 sonbaharından sonra 2025 yılında tekrar ortaya çıkarak görülme periyoduna uygun hareket etmiştir (Abayli vd., 2023; Alkan vd., 2017; Erol vd., 2015; Karayel-Hacıoğlu vd., 2021; Girgin vd., 1986; Tonbak vd., 2012). 2025 yılının Ağustos ayından itibaren bölgesel olarak sahada Üç Gün hastalığı ve Şap hastalığı (Dabak, FMD) birlikte saptanmış ve yayılarak ilerlemişlerdir. Her iki hastalığın birlikte görülmesi hayvan sağlığı ve ekonomisi için önemli olumsuz sonuçlara neden olmuştur. Bu iki hastalık aynı anda ve aynı sürüde birlikte görüldüğünde, hayvan sağlığı üzerindeki olumsuz sonuçlar daha da artmakta ve ekonomik zarar, her bir hastalığın tek başına yol açtığı zararlardan çok daha büyük olabilmektedir. Türkiye'nin Asya-Orta Doğu ve Avrupa arasındaki kavşak

noktasındaki stratejik coğrafi konumu göz önüne alındığında, etkili kontrol önlemleri alınmadığı takdirde hastalığın potansiyel olarak diğer komşu ülkelere, Balkanlara ve Avrupa ülkelerine yayılması endişesi bulunmaktadır. Üç gün hastalığının ilk odakları saptandığında Veteriner Hekimler odaları ve diğer hayvan sağlığı ile ilgilenen kurumlar vasıtası ile meslek için eğitimler düzenlenmesi erken koruyucu önlem alınabilmesi için önemli ve faydalı bir uygulamadır (Tekelioğlu, 2020). Hastalıkla ilgili sektörel olarak bilgilendirme yapılması ve bültenler hazırlanarak kamuoyuna duyurulması da ayrıca ek fayda sağlayacak uygulamalar arasında yer almaktadır (Tekelioğlu [a,b], 2025).

Yapılan önceki çalışmalar Türkiye'de hastalıktan koruyucu aşıların kullanılmamasının ekonomik etkisini değerlendirmişler ve ekonomik sonuçlarına ilişkin çarpıcı bilgiler ortaya koymuşlardır. Hayvanların düzenli olarak aşılanması yoluyla proaktif bir koruyucu tıp yaklaşımının ortalama maliyetlerinin bir salgın sırasında aşılanmamış bir hayvanın tedavi maliyetine göre %50 daha az olduğu ve ayrıca süt ineklerinin yaklaşık 85 dolarlık süt kaybı yaşadığı ve diğer hayvanların da 148 dolarlık bir kayıpla karşılaştığı hesaplanmıştır (Ayvazoğlu & Ayvazoğlu, 2022). Sonuç olarak sığırların Üç Gün hastalığında biyogüvenlik, vektör kontrolü ve aşılama ile koruyucu hekimlik uygulamaları önemli bulunmuştur.

KAYNAKÇA

1. Abaylı, H., Tonbak, S. ve Azkur, A. K., Re-emergence of bovine ephemeral fever in Türkiye in 2020 after an 8-year absence: A molecular analysis study, *Israel Journal of Veterinary Medicine*, 78, 37–46, 2023.
2. Alkan, F., et al., Assessment of the molecular epidemiology of bovine ephemeral fever in Türkiye, *Veterinarski Arhiv*, 87(6), 665–675, 2017.
3. Ayvazoğlu, C. ve Ayvazoğlu Demir, P., Bovine ephemeral fever in Türkiye and its economic effect, *Van Veterinary Journal*, 33(3), 71–75, 2022. DOI: 10.36483/vanvetj.1141040.
4. Bendon, J., 3-day sickness in Karratha, Australia, CC BY-SA 2.0, 2013. Erişim adresi: Wikimedia Commons (Erişim tarihi: 10.11.2024).
5. Blasdell, K. R., Davis, S. S., Voysey, R., et al., Hayes Yard virus: a novel ephemerovirus isolated from a bull with severe clinical signs of bovine ephemeral fever is most closely related to Puchong virus, *Veterinary Research*, 51(1), 58, 2020. DOI: 10.1186/s13567-020-00781-1.
6. Calisher, C. H., Karabatsos, N., Zeller, H., et al., Antigenic relationships among rhabdoviruses from vertebrates and hematophagous arthropods, *Intervirology*, 30(5), 241–257, 1989. DOI: 10.1159/000150100.
7. Erol, N., Koç, B. T., Gür, S., Çağla, V. Ö. ve Tan, M. T., Aydın ve Muğla illerinde bovine ephemeral fever virus enfeksiyonunun serolojik olarak araştırılması, *Kocatepe Veterinary Journal*, 8(2), 45–49, 2015.
8. Girgin, H., Yonguç, A. D., Akcora, A. ve Aksak, E., Türkiye'de ilk bovine ephemeral fever salgını, *Etlik Veteriner Mikrobiyoloji Enstitüsü Dergisi*, 5(1), 11–12, 1986.
9. Holmes, I. H. ve Doherty, R. L., Morphology and development of bovine ephemeral fever virus, *Journal of Virology*, 5(1), 91–96, 1970. DOI: 10.1128/JVI.5.1.91-96.1970.
10. ICTV, Bovine Ephemeral Fever Virus, *International Committee on Taxonomy of Viruses*, 2023. Erişim adresi: https://ictv.global (Erişim tarihi: 10.11.2025).
11. Karayel-Hacıoğlu, I., Duran Yelken, S., Vezir, Y., Ünal, N. ve Alkan, F., Isolation and genetic characterization of bovine ephemeral fever virus from epidemic-2020 in

Türkiye, *Tropical Animal Health and Production*, 53(2), 276, 2021. DOI: 10.1007/s11250-021-02715-1.

12. Kemp, G. E., Lee, V. H., Moore, D. L., et al., Kotonkan, a new rhabdovirus related to Mokola virus of the rabies serogroup, *American Journal of Epidemiology*, 98(1), 43–49, 1973. DOI: 10.1093/oxfordjournals.aje.a121531.
13. Lecatsas, G., Theodoridis, A. ve Erasmus, B. J., Electron microscopic studies on bovine ephemeral fever virus, *Archiv für die gesamte Virusforschung*, 28(3), 390–398, 1969. DOI: 10.1007/BF01240952.
14. Murphy, F. A., Taylor, W. P., Mims, C. A. ve Whitfield, S. G., Bovine ephemeral fever virus in cell culture and mice, *Archiv für die gesamte Virusforschung*, 38(2), 234–249, 1972. DOI: 10.1007/BF01249675.
15. Tekelioğlu, B. K., Bovine Ephemeral Fever Semineri, Adana Veteriner Hekimler Odası, Adana, 2020.
16. [a]Tekelioğlu, B. K., Çiftçiye Kritik Uyarı. https://www.referansturk.com. tr/haber/ 26507114/ciftciye-kritik-uyari
17. [b]Tekelioğlu, B. K., Üç Gün Hastalığında Rehavete Kapılmayın. https://www.referansturk.com.tr/haber/26982302/uc-gunde-rehavete-kapilmayin
18. Tokarz, R., Sameroff, S., Tagliafierro, T., et al., Identification of novel viruses in *Amblyomma americanum*, *Dermacentor variabilis* and *Ixodes scapularis* ticks, *mSphere*, 3(2), e00614-17, 2018. DOI: 10.1128/mSphere.00614-17.
19. Tomori, O., Fagbami, A. ve Kemp, G., Kotonkan virus: experimental infection of White Fulani calves, *Bulletin of Epizootic Diseases of Africa*, 22(3), 195–200, 1974.
20. Tonbak, S., Berber, E., Yörük, M. D., et al., A large-scale outbreak of bovine ephemeral fever in Türkiye, 2012, *Journal of Veterinary Medical Science*, 75(11), 1511–1514, 2013. DOI: 10.1292/jvms.13-0085.
21. Walker, P. J., Bovine ephemeral fever in Australia and the world, *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 292, 57–80, 2005. DOI: 10.1007/3-540-27485-5_4.
22. Walker, P. J., Firth, C., Widen, S. G., et al., Evolution of genome size and complexity in the Rhabdoviridae, *PLoS Pathogens*, 11(2), e1004664, 2015. DOI: 10.1371/journal.ppat.1004664.
23. Walker, P. J. ve Klement, E., Bovine ephemeral fever virus, *Veterinary Research*, 2015. Erişim adresi: https://veterinaryresearch.biomedcentral.com (Erişim tarihi: 10.11.2025).
24. Walker, P. J., Bovine ephemeral fever virus, içinde: *Encyclopedia of Virology*, 3. Baskı, Elsevier, 2008.
25. Yılmaz, H., Turan, N. ve Hasöksüz, M., İstanbul Üniversitesi Viroloji Ders Notları, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2013.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KARBON ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİTLERDE EKSENEL ve TRANSVERS YÖNLÜ LİFLERİN KARAKTERİSTİK ETKİLERİ

(CHARACTERISTIC EFFECTS OF AXIAL AND TRANSVERSE ORIENTED FIBERS IN CARBON FIBER REINFORCED COMPOSITES)

MSc, Koray BALTALI

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

koraybaltali@gmail.com - 0009-0005-7813-2745

Doç. Dr. S. Bahar BAŞTÜRK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

bahar.basturk@cbu.edu.tr - 0000-0002-4027-1935

ÖZET

Karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozitler, yüksek elastik modülleri, düşük yoğunlukları ve üstün yük taşıma kapasiteleri nedeniyle ileri mühendislik uygulamalarında kritik bir malzeme grubudur. Bu malzemeler, yüksek yorulma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve boyutsal kararlılık gibi özellikleri sayesinde havacılık, uzay, otomotiv ve enerji sektörlerinde kullanılmaktadır. Vakum infüzyon, reçine transfer kalıplama, pultruzyon, filament sarma ve presle kalıplama gibi üretim teknikleri ile kompozitlerin elyaf yönelimi ve hacimsel oranları kontrol edilerek tasarım gereksinimlerine karşılanabilmektedir. Sözü edilen özellikler göz önüne alındığında, KETP kompozitler hafiflik gerektiren uygulamalarda sağladıkları maksimum performans ile monolitik malzemelere ciddi bir alternatif olmaktadır. Bu çalışmada 0° (eksenel) ve 90° (transvers) elyaf oryantasyona sahip sürekli karbon elyaf /epoksi kompozit numunelerin çekme, laminalar arası kayma mukavemeti ve termal bozunma sıcaklık değerleri belirlenerek karşılaştırılmıştır. Tüm örnekler, vakum infüzyon yöntemiyle üretilen kompozit plakalardan elde edilmiştir. Sırasıyla ASTM D3039M-08 ve ASTM D7264 standartlarına göre kesilerek hazırlanan çekme ve eğme örnekleri test edilerek ilgili mukavemet ve rijitlik parametreleri saptanmıştır. İçeriğinde eksenel yönde karbon elyaf bulunan kompozitler 544,40±94 MPa çekme mukavemeti ve 64,77±6,40 GPa elastisite modülü sergilerken transvers yönlü lif bulunduran numunelerde ise bu değerler sırasıyla 37,86±2,80 MPa ve 6,79±1,25 GPa olarak tespit edilmiştir. Laminalar arası kayma parametreleri açısından da benzer bir durum gözlenmiş ve 0°'lik KETP kompozit yapılar ortalama 19,96±1,53 MPa kayma mukavemeti gösterirken 90°'lik KETP kompozit örnekler ise sadece 6,47±0,85 MPa'lık bir değer göstermiştir. Termal gravimetrik analiz (TGA) sonuçlarına göre ise eksenel yönlü elyaf katkılı kompozitlerin, transvers yönlü fiber içeren muadillerine kıyasla yaklaşık 4°C daha fazla bozunma sıcaklık aralığı (371°C-416°C) sergilediği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karbon elyaf takviyeli kompozitler, mekanik özellikler, termal bozunma karakteristiği

1. GİRİŞ

Fiber takviyeli kompozit ürünler endüstride altmış yıldan uzun bir süredir kullanılmaktadır, gelişmiş mühendislik uygulamalarındaki önemli yapısal bileşenlerdendir. Otomotiv, havacılık, enerji, ulaşım, elektrik, elektronik, optik gibi birçok alanda mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Hafiflik, tasarım esnekliği, üretim kolaylığı, yüksek mukavemet, yüksek performans, uzun ömürlü kullanım ve geri dönüştürülebilirlik gibi tercih edilebilir özellikler sunmaktadır. Karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli kompozitler, mühendislik ve endüstriyel uygulamalarda önemli malzemelerdir. Bu kompozitler, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık özelliklerini, elyafın dayanıklılığı ve maliyet etkinliği ile birleştirerek mükemmel mekanik özelliklere sahip malzemeler üretmeyi amaçlar [1,2]. Cam fiber takviyeli kompozitler, nispeten düşük maliyetleri, iyi darbe dayanımları ve kimyasal dirençleri sayesinde özellikle denizcilik, inşaat ve otomotiv sektörlerinde tercih edilmektedir. Karbon fiber takviyeli kompozitler ise daha yüksek elastisite modülü, çekme mukavemeti ve düşük yoğunluklarıyla öne çıkmakta olup havacılık, uzay ve yüksek performans gerektiren yapısal uygulamalarda kritik bir rol oynamaktadır. Mekanik açıdan karbon fiberler cam fiberlere kıyasla daha yüksek rijitlik ve yorulma direnci sunarken, termal olarak da daha düşük genleşme katsayısı ve daha yüksek termal kararlılık sergilemektedir. Bununla birlikte, her iki kompozit türünün nihai mekanik ve termal performansı; lif yönelimi, hacimsel lif oranı, matris tipi ve üretim yöntemi gibi parametrelere doğrudan bağlıdır [3-6].

Mevcut çalışma kapsamında eksenel (0°) ve transvers (90°) yönelime sahip sürekli karbon fiber kumaşlar epoksi matris ile entegre edilmiştir. Bu entegrasyon, vakum infüzyon tekniği ile gerçekleştirilmiş olup test ve analiz numuneleri, üretilen kompozit plakalardan kesilerek elde edilmiştir. Laminalar arası kayma mukavemet testi (ILSS) ve çekme testinin yanı sıra termal bozunma (dekompozisyon) sıcaklığı gibi ısıl parametreler de termal gravimetrik analiz (TGA) ile tespit edilmiştir. Böylelikle eksenel ve transvers yönlü elyaf katkısının düzlem içi ve düzlem dışı yükleme koşullarındaki değerleri belirlenerek karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma içeriğinde gerçekleştirilen kompozit imalat süreçlerinde epoksi esaslı infüzyon reçinesi ile 0° ve 90° elyaf yönelimine sahip 600 g/m² yüzey ağırlığında karbon elyaf kullanılmıştır. Epoksi reçine Westlake™ firmasından tedarik edilirken karbon elyaf ise Saertex™ firmasından temin edilmiştir. Epoksi matris için MGS RIMR 035C kodlu vakum infüzyon reçinesi ve MGS RIMH 037 kodlu sertleştirici, ağırlıkça 100:28±2 oranında karıştırılarak kullanılmıştır. Elyaf ve matris bileşenlerine ait teknik ve geometrik özellikler sırasıyla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Karbon elyaf takviyeli polimer (KETP) kompozitlerde, 0° ve 90° ile yönlenmiş örnekler sırasıyla KETP0 ve KETP90 olarak kodlanmış ve çizelgelerde/bildiri metni içinde de bu şekilde ifade edilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

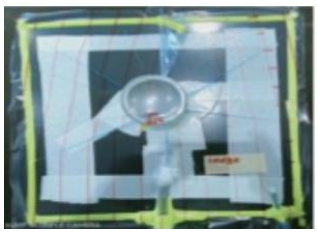
Çizelge 1. Karbon elyaf alansal ağırlık ve geometrik özellikleri

Numune Tipi	**Yönelim Açısı (°)**	**Alansal Ağırlık (g/m^2)**	**Kalınlık**
KETP0	0	600	1
KETP90	90		2

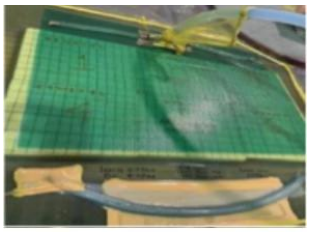
Çizelge 2. Epoksi matrisin mekanik özellikleri

Çekme Mukavemeti (MPa)	~75
Maksimum Uzama (%)	7-10
Çekme (Elastisite) Modülü (GPa)	~3,1
Eğme Mukavemeti (MPa)	~115
Eğme Modülü (GPa)	~3,1

Deneysel sürecin ilk aşamasında kalıp yüzeyi uygun yöntemlerle temizlenmiş ve yüzeye ayırıcı ajan uygulanmıştır. Bunu takiben test alanı, macun bant kullanılarak sınırlandırılmıştır. Vakum keçesi ve spiral hortum içeren membran paketi hazırlanarak vakum pompasının çıkışına bağlanmış, kalıp ısıtma sistemi 40°C sıcaklığa ayarlanmıştır. Serim sırası ve katman sayısı dikkate alınarak takviye kumaşlar hazırlanmış ve kalıp üzerine yerleştirilmiştir. Kumaş katmanlarının üzerine sırasıyla ayırıcı folyo ve dağıtıcı katman yerleştirilmiştir. Spiral hortum ile infüzyon hortumu birbirine bağlanmış ve spiral hortum ile dağıtıcı katman arasında akış bağlantısı sağlanmıştır. Akış yönünün sonunda, vakum hattı üzerine membran paketi konumlandırılmıştır. Tüm sistem, kaplanmış macun bantlar yardımıyla vakum torbası ile sızdırmaz şekilde kapatılmıştır. Reçine giriş hattı kapalı konumda tutulmuş ve pakette hava kaçağı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Vakum pompası devreye alınarak sistemde en az 960 mbar (veya ilgili bölgedeki maksimum atmosfer basıncı) vakum basıncına ulaşılmıştır. Vakum seviyesinin stabilitesi izlenmiş ve herhangi bir basınç düşüşü gözlemlenmemiştir. Daha sonra reçine giriş hattı infüzyon reçinesi içeren kaba daldırılarak infüzyon işlemi başlatılmıştır (bkz. Görsel 1-a). Vakum torbası içerisindeki yapı tamamen reçine ile doyurulduktan sonra kalıp sıcaklığı 80 °C'ye yükseltilmiş ve Görsel 1(b)'de görüldüğü gibi numuneler 240 dakika süreyle kürlenmiştir.



(a)



(b)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

(c) **(d)**

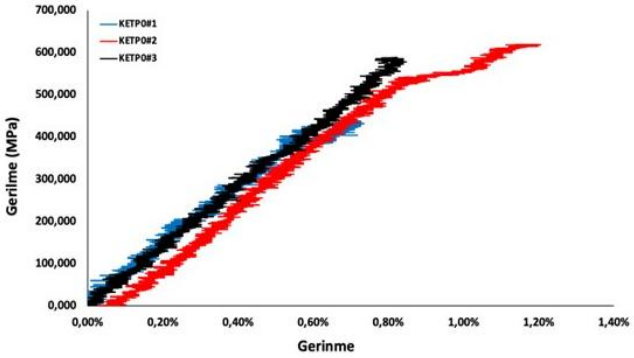
Görsel 1. Kompozit plakaların (a) vakum infüzyon tekniği ile üretim süreci, (b) infüzyon sonrası kürlenme süreci, (c) çekme test numuneleri, (d) ILSS test numuneleri

Kürleme sürecinin tamamlanmasının ardından kalıp ısıtma sistemi kapatılmış, 120 dakikalık soğuma süresinden sonra sarf malzemeler uzaklaştırılarak test panelleri imal edilmiştir [7]. Üretilen kompozit yapıların ASTM D3039M-08 (çekme) ve ASTM D2344 (ILSS) standartlarına göre kesimi yapılmış, Görsel 1(c) ve (d)'de görüldüğü gibi her birinden en az 3'er adet olacak şekilde numune elde edilmiştir. Bu numuneler aynı standartlar baz alınarak çekme ve laminalar arası kayma (ILSS) testlerine tabi tutulmuştur. Her iki test de SHIMADZU AG-IS™'de 100kN'luk yük hücresine sahip cihaz konfigürasyonunda ve 2 mm/dakika hız değerinde gerçekleştirilmiştir. Laminalar arası kayma testi sırasında üç nokta eğme aparatı kullanılmış olup cihazın kaydettiği kuvvet-uzama değerleri raporlanmıştır. Çekme testinde ise hassas ekstansiyometre verileri kullanılarak gerinme parametresi hesaplanmıştır. Hitachi Exstar™ SII TG/DTA 7300 model termal gravimetrik analiz (TGA) cihazı, kompozit malzemelerin termal stabilitesini belirlemek için kullanılmıştır. Numuneler ASTM E1131 standardına uygun olarak hazırlanmış olup 8-10 mg arasında değişen kütleye sahiptir. Saf epoksi ve KETP kompozit örnekler alümina krozelere konulup, 25°C-600°C arasında 20°C/dakikalık bir sıcaklık protokolünde ısıtılarak ağırlık kayıpları ölçülmüş ve dekompozisyon sıcaklıkları belirlenmiştir.

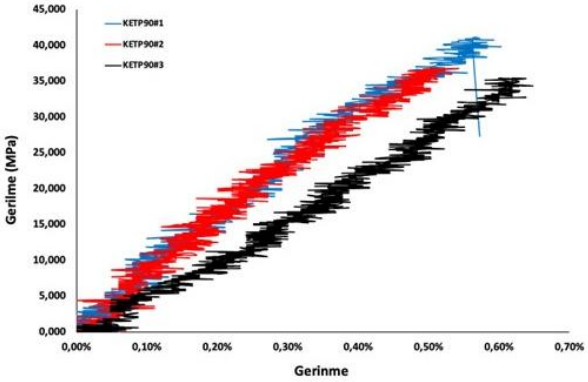
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Görsel 2 (a) ve (b)'de 0° ve 90° oryantasyonlu sürekli karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme-gerinme grafikleri verilmiştir. Her iki görselde de kompozit örnekler lineer bir trend göstermekte olup beklendiği gibi elastik davranış sergilemiştir. 0°'lik karbon elyaf içeren KETP numuneler çekme yüklemesine paralel olarak konumlandığı için oldukça yüksek rijitlik ve dayanım değerlerine sahiptir. Çizelge 3'te de kaydedildiği üzere KETP0 kompozitler ortalama olarak 544,40±94 MPa çekme mukavemeti ve 64,77±6,40 GPa elastisite modül değeri vermektedir. Diğer yandan, 90°'lik karbon lif ile yönlenmiş KETP kompozitlerde ise aynı parametreler sırasıyla 37,86±2,80 MPa ve 6,79±1,25 GPa olarak hesaplanmıştır. Düzlem içi yüklemeye maruz kalan KETP90 test numuneleri, test yükleme doğrultusuna dik yönlü olarak yönlendiği için gösterdikleri dayanım ve modül değerleri oldukça sınırlı kalmıştır. Gerinme (% uzama miktarı) açısından incelendiğinde, 0° karbon fiber takviyesinin çekme kuvvetleri altında kompozit yapıya göreceli daha iyi süneklik özelliği kazandırdığı görülmüştür. Sırasıyla %48 ve %54'lük fiber hacim oranınsa sahip KETP0

ve KETP90 kompozit panellerin monolitik metal malzemelerle rekabet edebilecek çekme karakteristiği göstermesi literatürle uyumlu bir durumdur.



(a)



(b)

Görsel 2. Çekme testi sonucu (a) KETP0 kompozitlerin gerilme-gerinme grafiği, (b) KETP90 kompozitlerin gerilme-gerinme grafiği

Çizelge 3. KETP kompozitlere ait çekme testi parametreleri

Numune #	Çekme Mukavemeti (MPa)	Elastisite (Çekme) Modülü (GPa)	Ortalama Çekme Mukavemeti (MPa)	Ortalama Elastisite Modülü (GPa)
KETP0#1	438,35	66,21	544,40±94	64,77±6,40
KETP0#2	617,40	57,78		
KETP0#3	577,45	70,32		
KETP90#1	40,96	7,51	37,86±2,80	6,79±1,25
KETP90#2	35,49	5,34		
KETP90#3	37,14	7,52		

KETP0 ve KETP90 panel örneklerine ait laminalar arası kayma test sonuçları çalışma içeriğinde verilmiştir. Laminalar arası kayma gerilmesinin belirlenmesi için kullanılan ve ASTM D2344'te ifade edilen eşitlik aşağıda verilmekte olup "*F*" laminalar arası maksimum

kayma dayanımına, "P_{max}" etkiyen en yüksek kuvvete, "*d*" ve "*h*" ise sırasıyla genişlik ve kalınlık değerlerine karşılık gelmektedir.

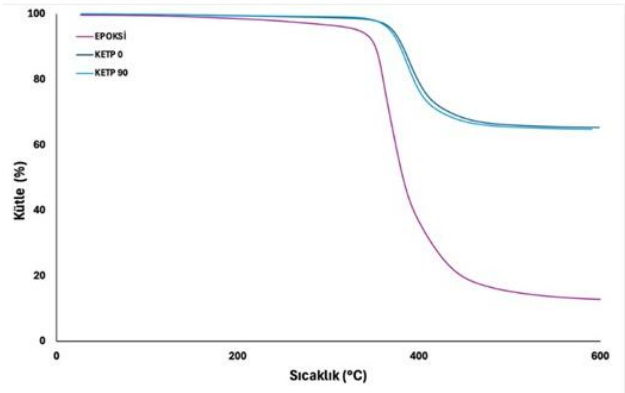
$$F = \frac{3.Pmax}{4.d.h} \qquad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'e göre yapılan hesaplamalar Çizelge 4'te yer almaktadır. Çekme test karakteristiği ile paralel bir davranış gösteren ILSS test sonuçlarına göre 0° karbon elyaf içeren kompozitler 90° elyaf yönelimli muadillerine kıyasla ortalamada yaklaşık 3 kat daha yüksek ILSS değeri sergilemiştir. Bu çizelgeye göre, KETP0 kompozit örneklerin ortalama kayma gerilmesi 19,96±1,53 MPa bulunurken KETP90 kodlu kompozitler için aynı parametre 6,47±0,85 MPa olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. KETP kompozitlere ait ILSS testi parametreleri

Numune #	ILSS (Laminalar Arası Kayma Mukavemeti) (MPa)	Ortalama ILSS Mukavemeti (MPa)
KETP0#1	18,24	19,96±1,53
KETP0#2	21,19	
KETP0#3	20,44	
KETP90#1	5,52	6,47±0,85
KETP90#2	7,19	
KETP90#3	6,69	

Karbon elyaf takviyeli kompozit numuneler ile epoksi matrisi içeren %kütle değişimi-sıcaklık grafiği ve ilgili parametreler sırasıyla Görsel 3 ve Çizelge 5'te sunulmuştur. KETP kompozitlerde bozunmanın başlangıç sıcaklığı 367°C ile 371°C arasında, bitiş sıcaklığı ise 412°C ile 416°C arasında gerçekleşmiştir. Epoksi malzemenin dekompozisyona başladığı sıcaklık değeri ise 346°C olarak saptanmıştır. Farklı yönelimlerdeki numuneler arasında belirgin bir farklılık gözlenmemekle birlikte 600°C sıcaklık sonrasında kalan kütle miktarı %63 ile %65 arasında değişiklik göstermiştir. Termal bir analiz verisi olan DTG'ye göre ise KETP kompozit yapılar saf epoksiye göre yaklaşık 30°C daha yüksek bir değerde maksimum kütle kaybına uğramıştır.



Görsel 3. KETP kompozit ve epoksi matrise ait TGA grafiği

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 5. TGA analiz sonuç değerleri

Numune Tipi	$T_{dekomp.}$ Aralığı (°C)	DTG (°C)	600C'de Kalan Kütle Miktarı (%)
Epoksi	346-412	359,30	12,53
KETP0	371-416	389	65,31
KETP90	367-412359,30	389,60	64,79

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, 0° (eksenel) ve 90° (transvers) yönlü yüklenmiş sürekli karbon elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozitlerin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Düzlem içi kuvvet uygulanarak gerçekleştirilen çekme testleri sonucunda kompozit yapıların rijitlik ve mukavemet parametreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, eksenel yönde istiflenmiş elyaf takviyesinin elastisite modülü ve çekme mukavemet değerlerinin transvers yönlü kompozitlere göre sırasıyla 10 ve 14 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde, 0° yönelimli karbon fiber içeren kompozitlerin ILSS değeri 90° elyaf katkısı olan örneklere göre 3 kat daha fazla laminalar arası kayma mukavemeti göstermiştir. Çekme yüklemesine paralel olarak konumlanan fiber takviyesi, literatürle uyumlu olarak ve beklendiği gibi çok daha yüksek ve etkin mekanik özellikler göstermiştir. Termal gravimetrik analiz sonuçlarına göre, KETP kompozitlerin dekompozisyon (bozunma) sıcaklık başlangıç değerinin saf epoksiden ∽20-25°C daha fazla olduğu gözlenmiştir. Ancak tüm yapılar 412 ile 416°C arasında tamamen bozunma göstermiştir. Elyaf yönünden bağımsız olarak sözü edilen kompozitlerin maksimum ağırlık kaybının oluştuğu sıcaklığı (DTG) saf epoksiden 30°C daha yüksek bulunmuştur.

KAYNAKÇA

1. Matykiewicz, D. Hybrid Epoxy Composites with Both Powder and Fiber Filler: A Review of Mechanical and Thermomechanical Properties, Materials. 13(8),1802, 2020.

2. Tarakçılar, A.R., Topçu. M., Taşgetiren. S. Kompozit Malzeme Kullanımında Tasarım Esasları, Mühendis ve Makine, 36, 422, 1995.

3. Hull, D., Clyne, T. W., *An Introduction to Composite Materials*, Cambridge University Press, 2019.

4. Gibson, R. F., *Principles of Composite Material Mechanics*, CRC Press, 2016.

5. Mallick, P. K., *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing, and Design*, CRC Press, 2007.

6. Agarwal, B. D., Broutman, L. J., Chandrashekhara, K., *Analysis and Performance of Fiber Composites*, Wiley, 2018.

7. Baltalı, K., *Farklı Yönelimdeki Karbon Elyaf ve Cam Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniverstesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Manisa, 2024.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SFERO DÖKME DEMİR SÜSPANSİYON KOLU BİLEŞENİNİN FREZELEME OPERASYONU İÇİN İŞLEME FİKSTÜR TASARIMININ OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF MACHINING FIXTURE DESIGN FOR MILLING OPERATION OF SPHEROIDAL CAST IRON SUSPENSION ARM COMPONENT

Mustafa Burak TERZİOĞLU
Marmara Üniversitesi,
mustafaburak.terzioglu@doktas.com - 0009-0007-2203-7647

Doç. Dr. İlyas KARTAL
Marmara Üniversitesi,
ilyaskartal@marmara.edu.tr – 0000-0001-9677-477X

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, sfero dökme demirden imal edilen bir otobüs arka süspansiyon kolunun işleme fikstürü tasarımı ve optimizasyon çalışmaları, CAD (bilgisayar destekli tasarım) ve CAE (bilgisayar destekli mühendislik) programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Süspansiyon kolu; havalı körüklerin, darbe sönümleyicilerin ve aksın bağlandığı, otobüsün arka süspansiyon sisteminde konfor ve emniyeti doğrudan etkileyen bir emniyet elemanıdır. İşleme fikstürü, parçanın talaşlı imalat performansı üzerinde kritik bir rol oynamaktadır. Süspansiyon kolu fikstürü, topoloji optimizasyonu yöntemi kullanılarak şekillendirilmiştir. DFM (üretilebilirlik için tasarım) ilkeleri doğrultusunda tasarımı yapılan fikstür, kesme ve sıkma kuvvetleri dikkate alınarak yapısal analizlerle doğrulanmıştır. Yapısal analizlerde kullanılan kesme ve sıkma kuvvetleri ampirik olarak hesaplanmış, elde edilen değerler DOE (deney tasarımı) yöntemi ile optimize edilmiştir.

Sonuç olarak, mühendislik temelli bir topoloji optimizasyon yaklaşımına dayanan fikstür tasarımı başarıyla geliştirilmiştir. Geliştirilen fikstür, geleneksel yöntemlerle tasarlananlara kıyasla yaklaşık %42,45 daha hafif olmasına rağmen daha yüksek rijitlik göstermiştir. Yapısal analizler, fikstürün işleme sırasında oluşan kesme ve sıkma kuvvetlerine karşı yeterli dayanım sağladığını doğrulamıştır. İşleme sonrası yapılan boyutsal ölçümler, iş parçasının teknik resim toleranslarına uygun olarak işlendiğini ortaya koymuştur. Bu açıdan, optimize edilmiş fikstür

tasarımı hem üretim doğruluğunu hem de yapısal verimliliği artıran etkili bir çözüm sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İşleme Fikstür Tasarımı, Topoloji Optimizasyonu, Küresel Grafitli Dökme Demir, Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), Titreşim ve Rijitlik.

ABSTRACT

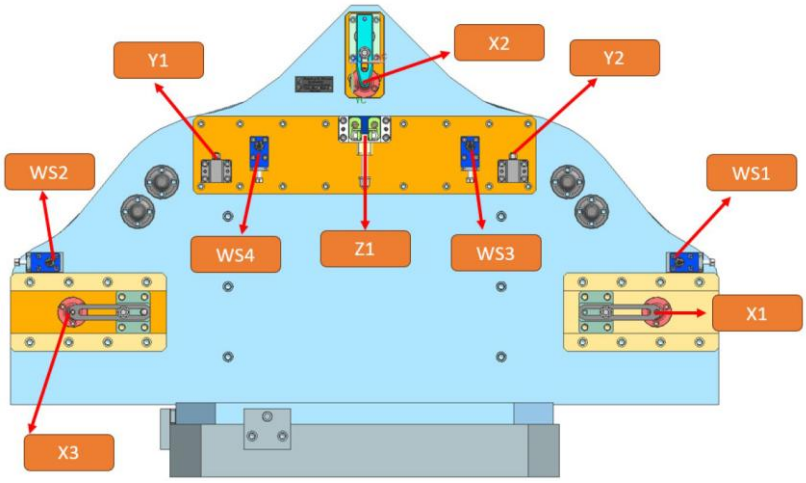
In this study, the design and optimization of a machining fixture for a bus rear suspension arm made of ductile cast iron were carried out using CAD (computer-aided design) and CAE (computer-aided engineering) programs. The suspension arm is a safety element in the rear suspension system of a bus, directly affecting comfort and safety, to which air bellows, shock absorbers, and the axle are connected. The machining fixture plays a critical role in the machining performance of the part. The suspension arm fixture was shaped using the topology optimization method. The fixture, designed in accordance with DFM (design for manufacturability) principles, was validated with structural analyses considering shear and clamping forces. The shear and clamping forces used in the structural analyses were calculated empirically, and the obtained values were optimized using the DOE (design for experimental) method. As a result, a fixture design based on an engineering-based topology optimization approach was successfully developed. The developed fixture exhibited higher rigidity despite being approximately 42.45% lighter than those designed using traditional methods. Structural analyses confirmed that the fixture provided sufficient resistance to the shear and clamping forces generated during machining. Post-machining dimensional measurements revealed that the workpiece was machined in accordance with the technical drawing tolerances. In this respect, the optimized fixture design offers an effective solution that increases both production accuracy and structural efficiency.

Keywords: Machining Fixture Design, Topology Optimization, Spheroidal Graphite Cast Iron, Finite Element Analysis (FEA), Vibration and Rigidity.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstriyel uygulamalarında, karmaşık geometrilere ve yüksek yapısal dayanım gereksinimlerine sahip parçaların üretiminde döküm yöntemleri hâlâ büyük bir öneme sahiptir. Bu yöntemler arasında, süneklik, mukavemet ve işlenebilirlik açısından üstün özellikler sunan sfero dökme demirler (EN-GJS sınıfı), otomotiv ve ağır vasıta sektörlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu malzeme grubunda, grafit yapısının lamel formdan küresel forma dönüştürülmesi, malzemenin mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmektedir.

Küreselleşme işlemi, ergimiş dökme demir banyosuna seryum (Ce) ve magnezyum (Mg) gibi nadir toprak elementlerinin eklenmesiyle sağlanmakta; bu sayede hem sünekliği hem de dayanımı yüksek bir mikro yapı elde edilmektedir [1]. Bu özelliklerinden dolayı, sfero dökme demirler yüksek yük taşıma kapasitesi, titreşim dayanımı ve uzun ömür gerektiren uygulamalarda kritik bir rol üstlenmektedir. Bu çalışmada, EN-GJS-500-7 sınıfı sfero dökme demirden üretilen bir otobüs arka süspansiyon kolunun, frezeleme operasyonlarına uygun şekilde işlenebilmesini sağlamak amacıyla işleme fikstürünün tasarımı ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Süspansiyon kolu; havalı körüklerin, darbe sönümleyicilerin ve aks elemanlarının bağlandığı, taşıtın arka süspansiyon sisteminde konfor ve emniyeti doğrudan etkileyen bir bileşendir. Parçanın karmaşık yüzey geometrisine, sınırlı bağlama alanlarına ve yüksek kesme kuvvetlerine maruz kalmasına bağlı olarak, CNC işleme merkezlerinde güvenli ve hassas biçimde işlenebilmesi ancak doğru şekilde tasarlanmış bir fikstür ile mümkündür [2]. Fikstür tasarımı yalnızca iş parçasının konumlandırılmasını ve sıkılmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda işlem sırasında ortaya çıkan kesme ve sıkma kuvvetlerine karşı yeterli rijitliği garanti edecek şekilde mühendislik kriterlerine göre optimize edilmelidir. Bu kapsamda, çalışmanın ilk aşamasında Siemens NX CAD ortamında geleneksel yöntemler kullanılarak parçanın işlenmesine uygun bir fikstür sistemi modellenmiştir. Özellikle yüzey frezeleme operasyonlarının uygulanacağı bölgeler dikkate alınmış; bağlama ve dayama noktaları buna göre belirlenmiştir. Görsel 1'de gösterildiği üzere, parçanın fikstür üzerindeki konumlandırılması x1, x2, x3 noktaları referans alınarak oluşturulan datuma göre yapılmış, y1, y2 ve z1 noktalarıyla hizalama sağlanmıştır.



Görsel 1. 3B CAD ortamında fikstür tasarımı

Sonrasında, işleme esnasında oluşacak kesme kuvvetleri ampirik olarak hesaplanmış ve bu kuvvetlerin fikstür üzerindeki etkileri Altair OptiStruct yazılımı kullanılarak yapılan yapısal

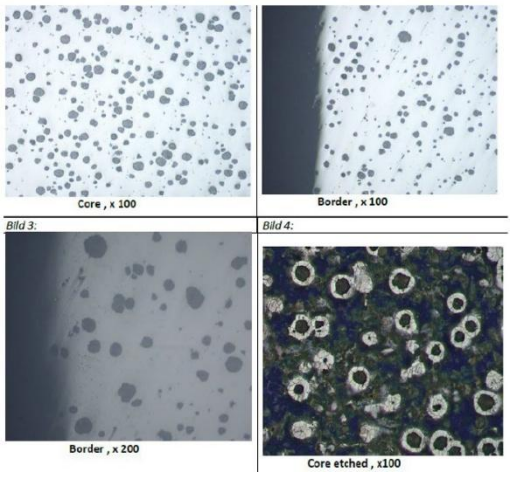
analizlerle değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda, deformasyona ve titreşime yatkın bölgeler belirlenmiş; bu bölgeler destek elemanları (work support) eklenerek takviye edilmiş ve daha rijit bir bağlama sistemi oluşturulmuştur. Fikstür tasarımının doğrulanmasının ardından, aynı model üzerinde topoloji optimizasyonu uygulanarak yapısal bütünlük korunurken kütle azaltımı hedeflenmiştir. OptiStruct ortamında gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sonucunda, başlangıçta 1.477 kg olan fikstür ağırlığı yaklaşık %42,45 oranında azaltılarak 850 kg seviyesine düşürülmüştür. Bu iyileştirme yalnızca ağırlıkta azalma değil, aynı zamanda performans artışı da sağlamıştır. Yapısal analiz sonuçlarına göre, ilk modelde 88 mikron olan maksimum yer değiştirme değeri, topoloji optimizasyonu uygulanmış son modelde 68 mikrona düşürülmüş ve bu durum, daha düşük kütleyle daha yüksek rijitlik elde edildiğini göstermiştir. Sonuç olarak, CAD ve CAE araçlarının mühendislik temelli parametrelerle entegre edildiği kapsamlı bir fikstür tasarım süreci yürütülmüştür. Geliştirilen metodoloji sayesinde, hem üretilebilirlik ilkelerine uygun hem de yapısal olarak optimize edilmiş bir fikstür tasarımı elde edilmiştir. Bu sayede frezeleme operasyonları sırasında deformasyon ve titreşim kaynaklı kalite problemleri minimize edilmiş, güvenilir bir bağlama sistemi oluşturulmuştur. Çalışma, düşük rijitliğe ve karmaşık geometrilere sahip iş parçaları için uygulanabilir sistematik bir metodoloji sunarak literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

2. Malzemeler ve Yöntemler

2.1. Malzemeler

2.1.1. İşlenecek Parçanın Malzemesi (Otobüs Süspansiyon Kolu)

Sfero dökme demir, karbonca zenginleştirilmiş bir dökme demir türü olup, bünyesindeki grafit yapıları nodüler (küresel) formda bulunur. Mikro yapısında yer alan küresel grafit partikülleri sayesinde yüksek süneklik, darbe dayanımı ve mukavemet gibi üstün özellikler sunmaktadır [1]. Bu malzeme, minimum 500 MPa çekme dayanımı ve minimum %7 uzama oranı ile tanımlanmaktadır. Görsel 2'de, optik mikroskop altında elde edilen EN-GJS-500-7 mikro yapısı gösterilmektedir.



Görsel 2. EN-GJS-500-7 malzemesinin mikro yapısı

2.1.2. Alt Plaka ve Arka Plaka Malzemesi

Fikstür tasarımında kullanılan gövde elemanları (alt plaka ve arka plaka), fikstürün genel rijitliğini sağlayan ve doğrudan tezgah tablası ile temas eden temel yapılardır. Bu bileşenler hem fikstürün kendi ağırlığını taşımakta hem de kesici takım ve sıkma elemanlarından gelen

yükleri absorbe etmektedir. Bu nedenle seçilecek malzemenin mekanik özellikleri, kaynak kabiliyeti, işlenebilirliği ve maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Plakaların işleme öncesinde birleştirilmesi gerektiği durumlarda, ST 52-3 malzemesi önemli avantajlar sunmaktadır. Bu malzeme, ön ısıtma gerektirmeden MIG/MAG kaynak yöntemleriyle kolayca birleştirilebilmekte ve ısıdan etkilenen bölgelerde gevrekleşmeye karşı düşük hassasiyet göstermektedir [3]. Bu çalışmada, fikstür gövdeleri ST 52-3 plakalardan plazma kesme, yüzey taşlama ve kaynak işlemleriyle üretilmiştir. Arka plaka 65 mm, alt plaka ise 50 mm kalınlığında tasarlanmıştır. Bu yapı, frezeleme operasyonları sırasında kesme kuvvetlerine karşı dayanıklılık sağlamış ve tezgah tablasına rijit bir montaj yüzeyi oluşturmuştur.

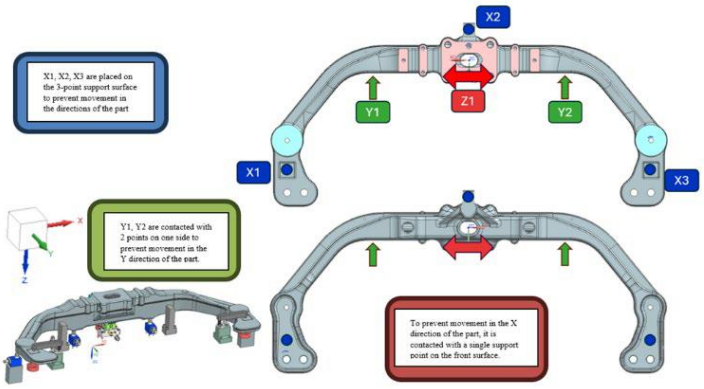
2.1.3. Fikstür Bileşenlerinin Malzemesi

Bu çalışma kapsamında geliştirilen işleme fikstüründe, sabit dayama ve sıkma mekanizmalarını içeren kütükler, yüksek mekanik dayanım ve işlenebilirlik gereksinimlerini karşılamak amacıyla AISI 4140 alaşımlı çelikten imal edilmiştir. Bu çelik, ıslah çelikleri grubuna dahil olup, hem ısıl işlem uygulanabilirliği hem de çok yönlü mühendislik özellikleri nedeniyle endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI 4140 çeliği, DIN standardına göre 42CrMo4 eşdeğerinde olan bir krom-molibden alaşımlı çeliktir. Kimyasal bileşimi tipik olarak %0,38–0,43 karbon, %0,75–1,0 krom, %0,15–0,25 molibden ve %0,8–1,1 mangan içermektedir [4]. Bu alaşım elementlerinin kombinasyonu, malzemeye yüksek çekme dayanımı, sertleşebilirlik, tokluk ve aşınma direnci kazandırmaktadır. Bu özellikler, doğrudan mekanik yüklere maruz kalan fikstür elemanları için kritik öneme sahiptir. Ayrıca, temperleme işlemi malzemenin gevrekliğini azaltarak darbe dayanımını artırır; böylece iş parçası yerleştirme sırasında ani yükler, çarpma kuvvetleri veya titreşimlere karşı güvenilir performans elde edilir [5]. Fikstürlerde kullanılan sabit dayama elemanları, iş parçasının konumunu hassas biçimde belirlemek ve işlem sırasında yer değiştirmesini önlemek amacıyla kullanılmaktadır.

2.2 Metod

2.2.1. CAD Ortamında Fikstür Tasarımı

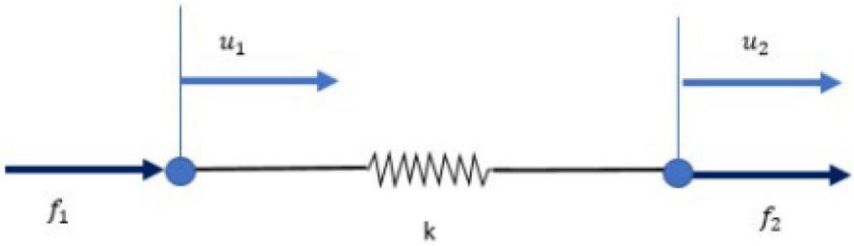
İlk olarak, fikstür tasarımı Siemens NX CAD yazılımı kullanılarak 3-2-1 konumlandırma prensibine göre modellenmiştir. İş parçasının karmaşık geometrisi ve işleme sırasında oluşan kuvvet dağılımları göz önünde bulundurularak, fikstür sabit dayamalar, sıkma noktaları ve destek bölgeleri net bir şekilde tanımlanacak biçimde özenle tasarlanmıştır. Her işlenmiş parça için fikstürün konumlandırma ve hizalama noktalarının belirlenmesi zorunludur. Bu prensip, 3-2-1 kuralı olarak adlandırılmakta olup Görsel 3’te gösterilmektedir.



Görsel 3. 3-2-1 prensibinin gösterimi.

2.2.2. Sonlu elemanlar metodu (FEM)

Sonlu elemanlar metodu (FEM), mühendislikte sınır değer problemlerinin yaklaşık çözümlerini elde etmek için kullanılan hesaplamalı bir tekniktir. Sınır değer problemi, bir veya birden fazla bağımlı değişkenin bilinen bir alanda diferansiyel bir denklemi sağlaması ve bu alanın sınırlarında belirli koşulları yerine getirmesi gereken matematiksel bir problem olarak tanımlanır. Sonlu elemanların temel özellikleri rijitlik matrisinde yer alır. Yapısal bir sonlu elemanda rijitlik matrisi, yüklere maruz kalan elemanın deformasyona karşı direncini gösteren geometrik ve malzeme davranışı bilgilerini içerir. Görsel 4'te bir yay elemanı gösterilmiştir.



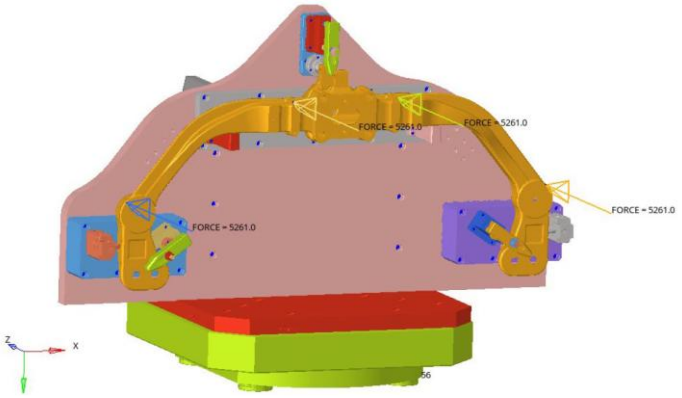
Görsel 4. 3-2-1 Yay sistemi şematik gösterimi [6].

Sonlu elemanlar analizinde, gerçekte sonsuz sayıda noktadan oluşan cisimler, sonlu sayıda elemanlara ayrılarak modellenir. Bu elemanlar türlerine göre farklı sayıda düğüm (node) içerir ve hesaplamalar bu düğüm noktaları üzerinden gerçekleştirilir. Temel olarak üç tip eleman vardır: bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu elemanlar [7]. Bu kategorilerdeki elemanların kenar, yüzey ve düğüm noktası sayısı eleman tipine göre değişiklik gösterir. Bir bileşen için kullanılacak eleman tipi, o bileşenin geometrik özellikleri dikkate alınarak belirlenir.

Fikstür tasarımı üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, iş parçası üzerindeki deformasyon, titreşim ve gerilmenin olumsuz etkilerini azaltarak işleme performansını iyileştirmeye odaklanmıştır. Literatürde, fikstür tasarımı ilkeleri, optimizasyon teknikleri ve fikstür performansının değerlendirilmesine yönelik analitik yöntemler hakkında önemli bilgiler yer almaktadır.

Bu çalışmada, işleme sırasında kesme kuvvetlerinin etkisiyle iş parçası üzerinde oluşan deformasyon ve gerilmeleri değerlendirmek amacıyla sonlu elemanlar analizi (FEA) gerçekleştirilmiştir. İş parçası ve fikstür bileşenleri CAD ortamında modellenmiş ve analiz yazılımına entegre edilmiştir. Malzeme özellikleri doğrusal elastikiyet varsayımı altında tanımlanmış, sınır koşulları ise işleme sırasında ortaya çıkan kuvvetler dikkate alınarak belirlenmiştir. Kesme parametreleri göz önünde bulundurulduğunda, iş parçasına etki eden yük 5261 N olarak hesaplanmıştır. Bu koşullar altında sonlu eleman modelleme çalışmaları Altair HyperMesh kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Meshleme aşamasında tetrahedral elemanlar tercih edilmiştir.

Alın frezeleme operasyonu sırasında, kesici takım yükü iş parçası yüzeyinde kesici uçların maksimum etki göstereceği dört noktada kesici plaket ucu büyüklüğü kadar bölgede +Z yönünde uygulanmıştır. Frezeleme işlemi sırasında uygulanan kesme kuvvetlerinin vektörel gösterimi Görsel 5'te sunulmaktadır.



Görsel 5. Alın frezeleme sürecinde uygulanan kuvvetlerin gösterimi.

Modal analiz, diğer adıyla frekans analizi, bir yapının doğal frekanslarını ve bu frekanslara karşılık gelen titreşim modlarını belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Titreşim modları, bir yapının sönümleme ve dış uyarıcı kuvvetler olmaksızın nasıl titreştiğini tanımlar. Her ne kadar gerçek bir yapı sonsuz sayıda serbestlik derecesine sahip olsa da, sonlu sayıda ayrık titreşim moduna sahiptir. Her mod, belirli bir frekans ve buna karşılık gelen mod şekliyle ilişkilidir ve bu durum, yapının rijitlik kuvvetlerinin ataletsel kuvvetlerle dengede olduğu durumu temsil eder.

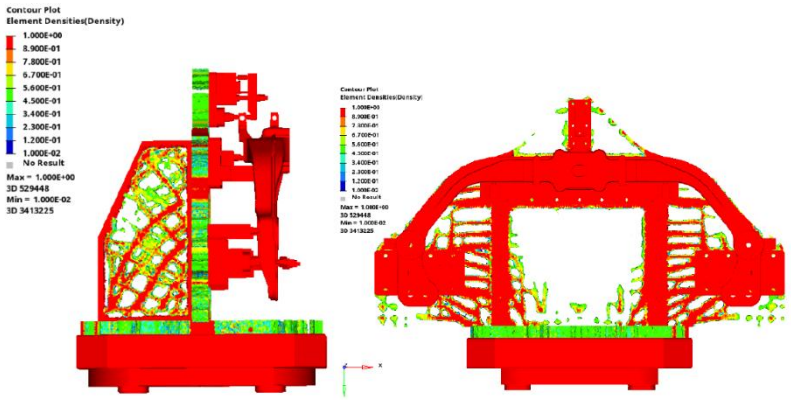
Bu çalışmada, fikstür ve iş parçası bütününün modal analizi Altair OptiStruct yazılımında EIGRL metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapı, tezgah bağlantı bölgesinden montajlı olarak modellenmiş ve operasyonel koşulları altında incelenmiştir.

2.2.3. Topoloji Optimizasyonu

Optimizasyon, bir tasarımın, sistemin veya karar sürecinin mümkün olan en kusursuz, işlevsel ve verimli hale getirilmesi işlemidir [6]. Topoloji optimizasyonu ise, belirli bir tasarım hacmi içinde ideal malzeme dağılımının belirlenmesi sürecidir. Tasarım sürecinin erken aşamalarında optimum yapısal biçimin belirlenebilmesi, son yıllarda mühendisler arasında topoloji optimizasyon yöntemlerinin giderek daha fazla tercih edilmesinin temel

nedenlerinden biridir. Topoloji optimizasyonu çalışmalarında yaygın olarak kullanılan iki yaklaşım bulunmaktadır: homojenleştirme yöntemi ve malzeme dağılımı yöntemi [8,9].

Bu çalışmada, topoloji optimizasyonuna ilişkin tanımlamalar Altair HyperMesh yazılımında gerçekleştirilmiş, çözümleyici olarak ise ilk ticari yapısal optimizasyon kodu olan Altair OptiStruct kullanılmıştır. Optimizasyon süreci iteratif olarak yürütülmüş ve 36 yineleme sonucunda sonuca ulaşılmıştır. Optimizasyon çıktısı, renk skalasında 1'e yakın değerlerin malzemenin korunması gereken bölgeleri, 0'a yakın değerlerin ise sistemden kaldırılması gereken bölgeleri temsil ettiği şekilde elde edilmiştir. Bu bölgeler Altair HyperView yazılımında otomatik olarak ayıklanmış ve ideal malzeme dağılımı görsel olarak ortaya konmuştur. Topoloji optimizasyonu analizlerinin çıktıları Görsel 6'da gösterilmektedir.



Görsel 6. Alın frezeleme sürecinde uygulanan kuvvetlerin gösterimi.

2.2.4. Üretilebilirlik İçin Tasarım

Bu çalışmada topoloji optimizasyonu sonucunda elde edilen fikstür geometrisi, öncelikle sac işleme, plazma kesme ve 3 eksenli CNC frezeleme yöntemleri açısından analiz edilmiştir. Optimizasyon sonucu ortaya çıkan kıvrımlı ve organik formlar, çoğu durumda geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle doğrudan üretilemeyecek kadar karmaşık yapılardadır [10].

Bu nedenle, özellikle yük taşıyan plakalar ve destek elemanlarında düzlemsel yüzeyler ve 2,5D özellikler korunarak kesme, işlenebilirlik ve bağlama kolaylığı sağlanmıştır. Üretilebilirlik açısından (DFM yaklaşımıyla) yapılan bu sadeleştirmeler, her bir bileşenin minimum sayıda işlem adımıyla üretilebilmesine olanak tanımıştır.

Örneğin, eğrisel iç boşluklar yerine üçgen veya dikdörtgen açıklıklar tercih edilerek hem talaş kaldırma kolaylaştırılmış hem de takım yolu planlaması sadeleştirilmiştir. Ayrıca, montaj sırasında kaynak gerektiren bölgeler cıvatalı bağlantılarla değiştirilerek sökülebilirlik ve bakım kolaylığı artırılmıştır. Bu yaklaşım yalnızca üretim süresini azaltmakla kalmamış, aynı zamanda operatör hatalarını da minimize etmiştir.

2.2.5. Kesme ve Sıkma Kuvvetlerinin Belirlenmesi

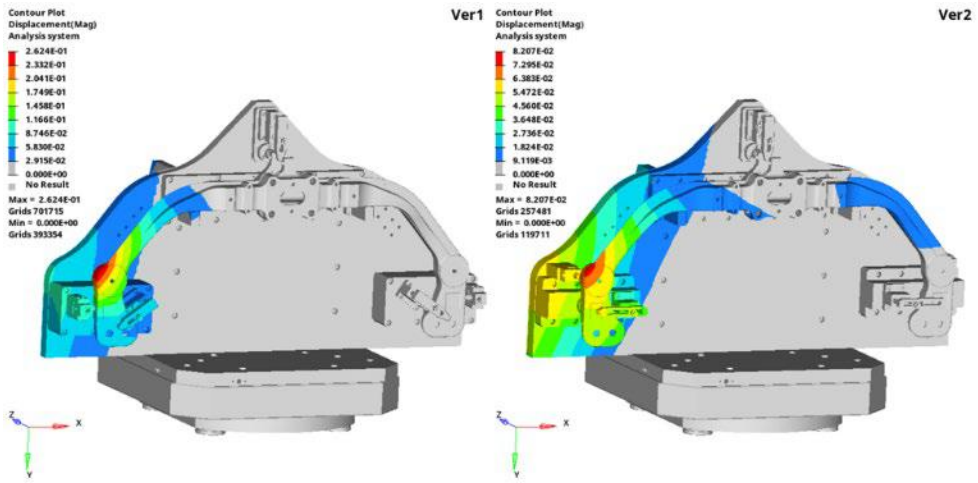
İş parçasına uygulanan kesme kuvvetleri, Ø160 mm alın frezeleme takımı ve EN-GJS-500-7 malzemesi için belirlenen kesme parametrelerine dayalı olarak ampirik formüllerle

hesaplanmıştır. Sıkma kuvvetleri ise iş parçasını fikstüre sabitleyen mekanik sıkma sistemlerinin uygulanabilir maksimum kuvvetleri esas alınarak belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, sfero grafitli dökme demir (EN-GJS-500-7) malzemeden imal edilen bir otobüs arka süspansiyon kolu bileşeninin işlenmesine yönelik fikstür, Siemens NX CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımı kullanılarak, geleneksel 3-2-1 bağlama prensiplerine uygun biçimde tasarlanmıştır. Tasarımda sabit dayama ve sıkma noktaları belirlenmiş; ardından Altair OptiStruct (Bilgisayar Destekli Mühendislik - CAE) yazılımı kullanılarak Ø160 mm alın frezeleme takımıyla gerçekleştirilen kaba ve finiş operasyonları, fikstür üzerindeki sıkma kuvvetleriyle birlikte simüle edilmiştir.

Malzeme kaldırma işlemi sırasında oluşan kesme kuvvetleri, takım kenarının temas bölgelerine uygulanmış ve hem modal hem de yapısal analizler gerçekleştirilmiştir. İlk tasarımda maksimum yer değiştirme değeri 262 µm olarak tespit edilmiş olup, bu değer sistemin titreşime eğilimli bölgelerinde yapısal iyileştirmeler yapılması gerektiğini göstermiştir. Bu doğrultuda arka plaka kalınlığı artırılmış ve iş parçasının uç kısımlarına mekanik destek elemanları eklenmiştir. Yapılan bu geliştirmeler sonucunda Versiyon 2 tasarımı elde edilmiş ve yer değiştirme değeri 82 µm seviyesine düşürülmüştür. Bu değer, sistemin kabul kriteri olarak belirlenmiştir (Görsel 7).

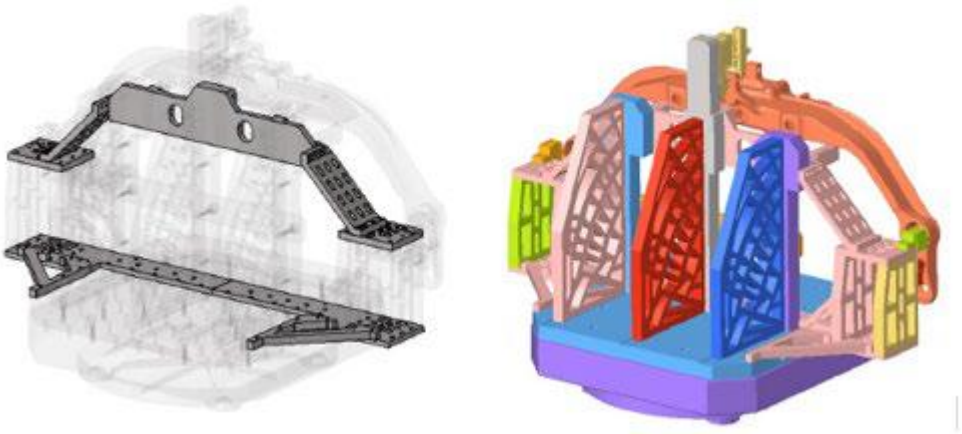


Görsel 7. Versiyon 1 ve Versiyon 2 tasarımlarına ait yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması.

Bu kriter temel alınarak Versiyon 2 modeli üzerinde topoloji optimizasyonu uygulanmış, amaç fikstür plakalarının kalan hacmini %50 oranında azaltmaktır. Bu çalışmadan elde edilen optimizasyon çıktıları incelenmiş, 3D CAD modeli üzerinde uygulanmış ve güncellenen tasarım yeniden modal ve yapısal analizlere tabi tutulmuştur.

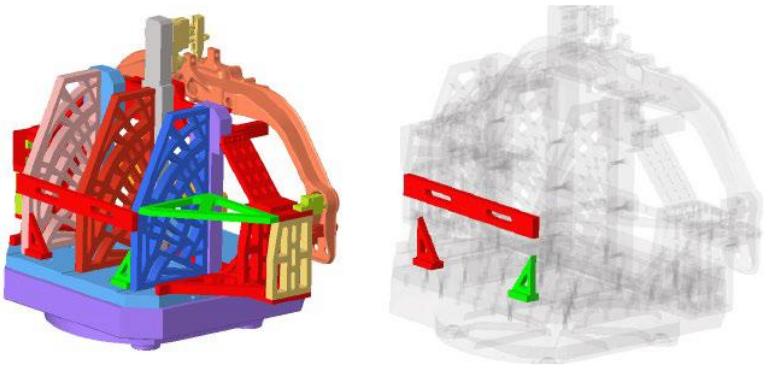
Ayrıca nihai sonuca ulaşılana kadar iki ek revizyon daha gerçekleştirilmiş ve süreç Versiyon 6 ile tamamlanmıştır. Versiyon 4 tasarımında sistemin rijitliğini artırmak ve yer değiştirme değerlerini azaltmak amacıyla üçgen biçimli destek plakaları tasarlanarak uygun bölgelere yerleştirilmiştir (Görsel 8). Bu değişiklik sonrasında yapılan sonlu elemanlar analizlerinde maksimum yer değiştirme 168 µm, birinci doğal frekans ise 111 Hz olarak ölçülmüştür.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 8. Versiyon 4 tasarımında eklenen destek plakaları.

Versiyon 5'te, Görsel 9'da gösterilen bu destek plakaları birbirine bağlanarak yapının genel titreşim dayanımı artırılmıştır. Bu yöntemin uygulanmasıyla maksimum yer değiştirme 92 µm'ye düşmüştür.



Görsel 9. Versiyon 5'te eklenen destek bağlantıları.

Tasarım revizyonları, yer değiştirme değerinin 82 µm'nin altına düşmesiyle birlikte sonlandırılmıştır. Nihai tasarım olan Versiyon 6, 67 µm yer değiştirme değerine ulaşmış ve ilk doğal frekans değeri, tezgâhın mil (spindle) frekans aralığının oldukça üzerinde bulunmuştur. Bu durum, sistemin rezonans riski taşımadığını ve yüksek rijitlik sergilediğini doğrulamıştır. Böylece Versiyon 6 tasarımı, hem yüzey kalitesi hem de takım ömrü açısından üstün performans sağlamıştır.

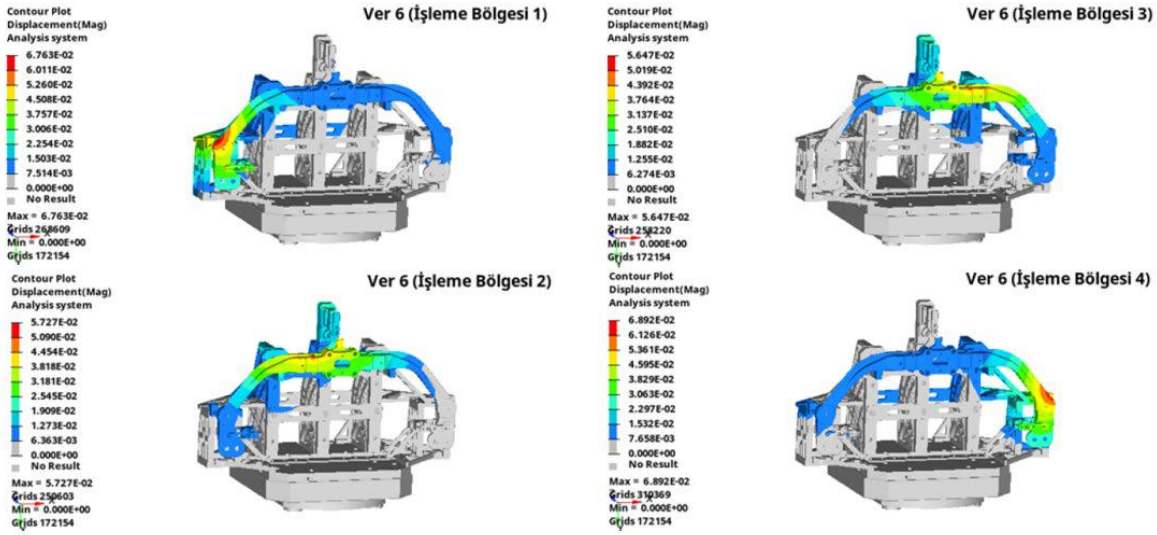
Yapısal dayanım ve birinci mod frekansındaki iyileşmelerin yanı sıra, topoloji optimizasyonu uygulanmış Versiyon 6 tasarımı, fikstür ağırlığını 1477 kg'dan 850 kg'a düşürmüştür. Bu iyileştirme yalnızca üretim maliyetlerini azaltmakla kalmamış, aynı zamanda çift paletli CNC tezgâhların işleme hassasiyetini ve dinamik stabilitesini artırarak sanayi açısından önemli bir avantaj sağlamıştır.

Versiyon 2 fikstür modeli, yapısal analizlerden elde edilen veriler doğrultusunda topoloji optimizasyonuna tabi tutulmuş ve hedef olarak %50 hacim azaltımı belirlenmiştir. Bu süreçte, plazma kesim yöntemiyle üretilebilirlik dikkate alınarak minimum duvar kalınlığı 20 mm, maksimum duvar kalınlığı ise 50 mm olarak sınırlandırılmıştır. Altair Inspire yazılımında gerçekleştirilen topoloji optimizasyonu çıktıları mühendislik bakış açısıyla

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

yorumlanarak sırasıyla Versiyon 3, Versiyon 4, Versiyon 5 ve Versiyon 6 tasarımları oluşturulmuştur. Her yeni tasarımda modal ve mukavemet analizleri yeniden yapılarak iteratif bir geliştirme döngüsü sürdürülmüştür.

Fikstür, dört farklı işleme bölgesi için simüle edilmiş olup elde edilen sonuçlar Görsel 10'da sunulmuştur.



Görsel 10. Dört farklı işleme bölgesine ait Versiyon 6 sonuçları.

3.1. Ağırlık ve Malzeme Tüketimi

Topoloji optimizasyonu sonucunda fikstürün ağırlığı, Versiyon 2 tasarımında 1477 kg, Versiyon 6 tasarımında ise 850 kg olarak ölçülmüştür. Bu da yaklaşık %42,45 oranında bir ağırlık azaltımına karşılık gelmektedir. Bu hafifleme yalnızca ergonomik avantajlar sağlamakla kalmamış, aynı zamanda CNC tezgâhlarının dinamik performansı üzerinde de doğrudan olumlu bir etki yaratmıştır.

Daha hafif bir fikstürün kullanılması, özellikle çift paletli CNC tezgâhlarda, yük dengesizliğini ortadan kaldırarak işleme hassasiyetini artırmıştır. Ayrıca, kütlenin azalması spindle yataklarındaki aşınmayı önlemeye yardımcı olmuş ve bu sayede tezgâhın servis ömrünün uzatılması hedeflenmiştir.

3.2. Modal Analiz Karakterizasyonu

Farklı versiyonlar için yapılan modal analiz karşılaştırmalarında, birinci doğal frekans Versiyon 2 için 82 Hz, Versiyon 6 için ise 118 Hz olarak ölçülmüştür. Daha yüksek doğal frekans değeri, sistemin dış titreşim kaynaklarına karşı daha dirençli olduğunu ve rezonans riski taşımadığını göstermektedir. Bu durum özellikle uzun süreli işleme operasyonlarında, takım ömrü ve yüzey kalitesi üzerinde olumlu etki sağlamaktadır.

3.3. Rijitlik Analizi

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Fikstür tasarımında en kritik kriterlerden biri olan rijitlik, her versiyonda kademeli olarak artırılmıştır. Gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerine göre:

- Versiyon 2 fikstürü: 82 Hz birinci mod frekansı, 82 µm maksimum yer değiştirme,
- Versiyon 6 fikstürü: 118 Hz birinci mod frekansı, 67 µm maksimum yer değiştirme değerlerine sahiptir.

Bu fark, versiyonlar arasında dinamik rijitlikte önemli bir artış elde edildiğini göstermektedir. Ayrıca bu artışın, yapılan yüzey pürüzlülüğü ölçümleriyle doğrudan iş parçası yüzey kalitesi üzerinde olumlu etki yarattığı da doğrulanmıştır.

3.4. Kütle Azaltımı ve Üretim Kolaylığı

Topoloji optimizasyonu sonucunda, fikstür ağırlığında %42,45'e varan bir azalma sağlanmıştır. Bu durum CNC tezgâh performansını doğrudan olumlu etkilemiştir:

- Versiyon 2 ağırlığı: 1477 kg
- Versiyon 6 ağırlığı: 850 kg

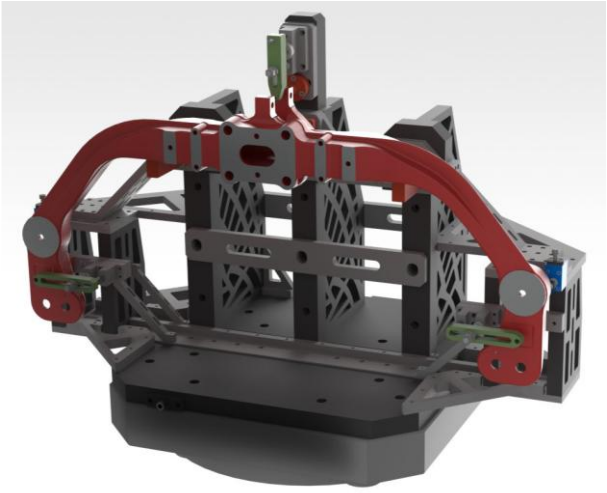
Bu kütle azaltımı yalnızca malzeme tasarrufu ve üretim maliyetlerinin düşürülmesi açısından değil, aynı zamanda CNC tezgâhın işleme dengesi açısından da avantaj sağlamıştır. Özellikle çift paletli sistemlerde meydana gelen palet dengesizliği problemi büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır.

3.5. Modüler Yapı

Tasarımda benimsenen modüler yaklaşım, bu fikstürün farklı parçalar için de kullanılabilmesini mümkün kılmıştır. Yapboz (Lego) mantığıyla monte ve demonte edilebilen bileşenler, yalnızca küçük modifikasyonlarla farklı boyutlardaki parçalar için tekrar kullanılabilir hale getirilmiştir. Böylece her parça için ayrı bir fikstür yatırımı yapılmasına gerek kalmamış, üretim sürecinde esneklik kazandırılmıştır.

Bu esneklik, fikstür tasarımının yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik bir çözüm sunduğunu da göstermektedir. NX CAD ortamında oluşturulan son halin görseli Görsel 11'de gösterilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 11. Nihai fikstür tasarımının render görüntüsü.

3.6. Üretim Doğruluğu ve Kalitesi

Koordinat Ölçüm Makinesi (CMM) ile yapılan ölçümler sonucunda, Versiyon 6 fikstürüyle işlenen süspansiyon koluna ait tüm boyutların teknik resim tolerans aralıkları içinde kaldığı belirlenmiştir. Bu durum, fikstürün yüzey deformasyonlarını engellediğini ve ilk seferde doğru üretim (first-time-right) prensibini sağladığını göstermektedir. Ayrıca, üretim sonrasında parça üzerinde gözlenen titreşim izlerinin optimize edilmemiş fikstüre göre önemli ölçüde azaldığı ve kesici takım ömrünün uzadığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, fikstürün bakım ve takım maliyetlerini uzun vadede azaltma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada, sfero dökme demir malzemeden üretilmiş bir otobüs arka süspansiyon kolunun işlenmesi için gerekli olan fikstür yapısı, CAD/CAE tabanlı sayısal yöntemler ve topoloji optimizasyonu kullanılarak tasarlanmış, analiz edilmiş ve iyileştirilmiştir.

Geleneksel tasarım yaklaşımlarının ötesine geçilerek, ampirik hesaplamalara dayalı yükler sonlu elemanlar yöntemleriyle modellenmiş, bu yükler altındaki davranış gözlemlenmiş ve rijitlik artırılmıştır.

Gerçekleştirilen tasarım iyileştirmeleri ve optimizasyon çalışmaları sonucunda:

- Fikstür rijitliği %18 oranında artırılmış,
- Kütle %42,45 oranında azaltılmış,
- İşleme sırasında oluşan titreşim ve deformasyonlar minimize edilmiştir.

Ayrıca, modüler yapısı sayesinde fikstür, farklı boyutlardaki iş parçalarına uyum sağlayacak biçimde tasarlanmış, böylece üretimde esneklik elde edilmiştir. Bu sayede hem parça başı maliyetler düşürülmüş, hem de CNC tezgâhlarda verimlilik artışı sağlanmıştır.

Geliştirilen fikstür, teknik resim toleranslarına tam uyum göstermiş ve "ilk seferde doğru üretim" ilkesine katkı sağlamıştır. Yüzey kalitesi, takım ömrü ve işleme süresinde gözlemlenen iyileşmeler, önerilen yöntemin endüstriyel uygulanabilirliğini ve sürdürülebilirliğini ortaya koymuştur.

KAYNAKÇA

[1] Çetin, A. (2016), Küresel Grafitli Dökme Demir, Ankara, El Kitabı Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi.

[2] Hodgson, A., Chen, X., (2008), A Methodology for The Development of Machining Fixtures for Components with Complicated Geometry,International Journal of Computer Integrated Manufacturing.

[3] ŞIK, Aydın. (2007). A Research into the Effect of Additional Electrode Types and Protective Mixture Gases on the Bending Fatigue Life of Steel Material That is Welded with MIG/MAG Welding Method, Gazi University Journal of Science.

[4] Tecer, M.M. (2020) Effects of Various Heat Treatment Procedures on the Toughness of AISI 4140 Low Alloy Steel. The Internal Journal of Materials and Engineering Technology 003,131-149.

[5] Çoban, O. (2025) Heat Treatment of AISI 1040 and AISI 4140 Steels: Microstructure-Mechanical Property Relationships for Normalization, Spheroidization and Quenching-Tempering. Journal of Innovative Engineering and Natural Science.

[6] Hutton, D.V. (2004) Fundamental of Finite Element Analysis. McGraw Hill Companies, New York.

[7] Martins, J.A., Kövesdy, I., (2012), Overview in the Application of FEM in Mining and the Study of Case: Stress Analysis in Pulleys of Stacker-Reclaimers: FEM vs. Analytical, Applications in Mechanical Engineering. InTech.

[8]- Bendsøe, O.S., (1999), Material interpolation schemes in topology optimization, Archive of Applied Mechanics 69, 635-654 .

[9]- Bendsøe, M.P., Kikuchi N., (1988), Genarating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 71, 197-224, North Holland.

[10]- Kerbrat, O., Mognol, P., Hascoet, J-Y., (2011), A New DFM Approach to Combine Machining and Additive Manufacturing, Institut de Recherche en Communications et Cybernetique de Nantes.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BAL PETEĞİ YAPILI KOMPOZİT MALZEMELERDE DEMİR TOZU DOLGUSU ETKİSİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF IRON POWDER FILLER IN HONEYCOMB-STRUCTURED COMPOSITE MATERIALS

Doç. Dr. İlyas KARTAL
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye
ilyaskartal@marmara.edu.tr, 0000-0001-9677-477X

Önder KORKMAZ
Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İstanbul, Türkiye
onderk@thy.com, 0009-0008-2481-2018

ÖZET

Bal peteği yapılara sahip kompozit malzemeler, yüksek özgül dayanım ve rijitlik sunmaları sayesinde birçok ileri mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle havacılık ve uzay araçlarının kanat, gövde paneli ve iç yapı elemanlarında tercih edilirler. Otomotiv sektöründe çarpışma bölgelerinde, zemin ve kapı panellerinde hem ağırlık azaltarak yakıt tasarrufu sağlar hem de güvenliği artırırlar. Birçok uygulamada bal peteği çekirdekli sandviç kompozitler, uzun ömür, korozyon direnci ve tasarım esnekliği sayesinde önemli avantajlar sunar.

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak ferromanyetik demir tozu, elyaf malzemesi olarak ise havacılık sektöründe sıkça kullanılan karbon kumaş ve Nomex Bal peteği yapılı malzeme kullanılarak kompozit malzeme üretimi hedeflenmiştir. Demir tozu içeren numuneler demir tozu içermeyen numuneye göre kıyaslanarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Reçine olarak Loctite marka epoksi reçine kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak mekanik özellikleri artırması da hedeflenerek demir tozu tercih edilmiştir. Demir tozu, %3 ve %6 oranlarda reçineye ilave edilerek kompozit numuneler elde edilmiştir. Elle yatırma yöntemi kullanılarak reçineye %3 ve %6 demir tozu eklenerek kompozit numuneler elde edilmiştir. Kompozit numunelerin Ultrasonik pals eko, Ultrasonik bond test, Üç nokta eğilme ve Çekme testleri yapılarak demir tozunun Ultrasonik ses dalgalarına ve mekanik özellikleri üzerinde etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak demir tozu ilavesi üç nokta eğilme mukavemetini arttırdı, çekme mukavemetini azalttı. Yine demir tozu oranının artması ile ultrasonik ses dalgalarının malzeme içindeki sönümlenmesi artmıştır.

Anahtar kelimeler; Ferromanyetik demir tozu, Ultrasonik pals eko, Ultrasonik bond testi, Üç nokta eğilme, Çekme testi, Ses dalgaları, Kompozit malzeme, Mekanik özellikler,

ABSTRACT

Honeycomb-structured composite materials are widely used in many advanced engineering fields due to their high specific strength and stiffness. They are particularly preferred in the aerospace industry for aircraft wings, fuselage panels, and internal structural components. In the automotive sector, they are used in crash zones, floor panels, and door panels, where they reduce weight to improve fuel efficiency while also enhancing safety. In many applications, honeycomb-core sandwich composites offer significant advantages such as long service life, corrosion resistance, and design flexibility.

In this study, the production of composite materials was aimed using ferromagnetic iron powder as a filler material, carbon fabric commonly used in the aerospace industry as the reinforcement material, and Nomex honeycomb-structured material as the core. The usability of iron powder-containing specimens was investigated by comparing them with specimens without iron powder. Loctite brand epoxy resin was used as the matrix material. Iron powder was selected as the filler material with the objective of improving mechanical properties. Composite specimens were produced by adding iron powder to the resin at ratios of 3% and 6%. Composite specimens containing 3% and 6% iron powder were produced using the hand lay-up method. Ultrasonic pulse-echo, ultrasonic bond test, three-point bending, and tensile tests were applied to the composite specimens, and the effects of iron powder on ultrasonic sound waves and mechanical properties were investigated. As a result, it was determined that the addition of iron powder increased the three-point bending strength, decreased the tensile strength. Additionally, it was observed that the attenuation of ultrasonic sound waves within the material increased with increasing iron powder content.

Keywords: Ferromagnetic iron powder, Ultrasonic pulse-echo, Ultrasonic bond testing, Three-point bending, Tensile test, Sound waves, Composite material, Mechanical properties.

1. GİRİŞ

Farklı malzemelerin biraraya gelmesiyle oluşan malzemeler kompozit malzemeler olarak kabul edilmektedir. Kompozit malzemelerin en basit tanımı ise minimum iki farklı malzemenin birleşmesiyle yeni bir malzeme oluşmasıdır. Kompozit malzemeler havacılık sektöründe yoğun olarak tercih edilmekte ve her geçen gün kullanım alanı giderek artmaktadır [1-3].

Kompozit malzemeler, havacılık sektöründe performans, güvenlik ve ekonomik verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu malzemelerin en önemli avantajı, yüksek mukavemet ve rijitlik değerlerini düşük yoğunlukla birlikte sunabilmeleridir. Uçak yapılarında ağırlığın azaltılması, doğrudan yakıt tüketiminin ve işletme maliyetlerinin düşürülmesini sağlarken, menzil ve faydalı yük kapasitesini artırmaktadır. Ayrıca kompozit malzemeler, metalik malzemelere kıyasla korozyona ve yorulmaya karşı daha dayanıklı olduklarından, bakım aralıklarının uzamasına ve servis ömrünün artmasına katkı sunmaktadır

Günümüzde karbon elyaf takviyeli polimer kompozitler, kanat, gövde, kuyruk ve kontrol yüzeyleri gibi kritik yapısal bileşenlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozitlerin tasarıma esneklik sağlaması, yük taşıyan bölgelerde malzemenin yönlü olarak optimize edilmesine imkân tanımakta ve böylece yapısal verimlilik artırılmaktadır. Bununla birlikte, radar soğurma, titreşim sönümleme ve termal yalıtım gibi çok fonksiyonlu özellikler

kazandırılabilmesi, kompozit malzemeleri modern havacılık uygulamalarında vazgeçilmez hâle getirmiştir. Bu nedenlerle kompozit malzemeler, daha hafif, daha çevreci ve daha güvenli hava araçlarının geliştirilmesinde temel bir rol oynamaktadır [4-6].

Bal peteği yapılı kompozit malzemeler, düşük yoğunlukları ve yüksek özgül rijitlikleri sayesinde özellikle havacılık ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların mekanik performansı büyük ölçüde çekirdek geometrisine, yüzey tabakalarının özelliklerine ve kullanılan matris–dolgu sistemine bağlıdır. Kompozit sistemlere dolgu malzemesi olarak demir tozu ilavesi, malzemenin mekanik, manyetik ve fonksiyonel özelliklerini değiştirme potansiyeline sahiptir. Demir tozu, yüksek yoğunluğu ve manyetik karakteri nedeniyle özellikle elektromanyetik girişim (EMI) kalkanlama ve titreşim sönümleme gibi çok fonksiyonlu uygulamalar açısından dikkat çekmektedir [8-10].

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak ferromanyetik demir tozu, elyaf malzemesi olarak ise havacılık sektöründe sıkça kullanılan karbon kumaş ve Nomex Bal peteği yapılı malzeme kullanılmıştır. Reçine olarak Loctite marka epoksi reçine kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak mekanik özellikleri artırması da hedeflenerek demir tozu tercih edilmiştir. Demir tozu, %3 ve %6 oranlarda reçineye ilave edilerek kompozit numuneler elde edilmiştir.

2.1 Kompozit Parça Üretimi

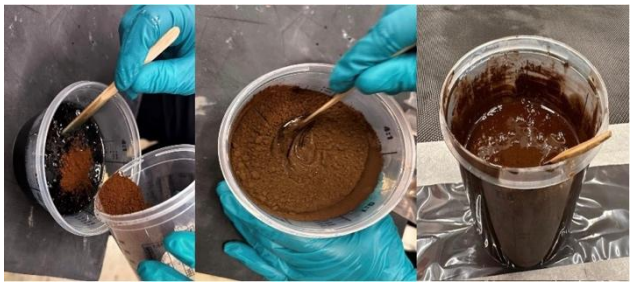
Islak yatırma yöntemi olarak da adlandırılan el yatırma yöntemi, sektörde kullanılan en geleneksel yöntemlerden biridir. Her katmanın yalnızca elle işlendiği ve istenen kalınlığa kadar katman katman istiflendiği çok basit bir işlemdir. Bu yöntem güvenilir olmasına rağmen, çok fazla işçilik gerektirir ve işlem, gelişmiş üretim yöntemlerine göre daha fazla zaman alır. Kalite, çalışanın becerisine bağlıdır. Karbon veya cam gibi tüm malzemeler bu yöntem için uygundur. Bu yöntemde reçineyi uygulamak ve hava kabarcıklarını azaltmak için fırçalar, plastik spatulalar ve rulolar kullanılır. El yatırma yöntemi işlemi, ilk kumaş katmanı kalıba yerleştirilmeden önce ayırıcı maddenin uygulanmasıyla başlar. Bir sonraki adımda, reçine kumaşa uygulanır ve maksimum sıkıştırmaya ulaşmak, sıkışmış kabarcıkları gidermek ve fazla reçineleri çıkarmak için bir silindir veya plastik spatula kullanılarak sıkıştırılır. Son olarak, sonraki takviye katmanları oda sıcaklığında veya ısıyla kürleme işlemiyle sertleştirilir [8-10].

Önce üretimi yapılacak kompozit parçanın boyutuna göre bal peteği core hazırlandı. Testlerde kullanmak için 3 parça nomex bal peteği test parçasınada yapay hasar açıldı. Kullanılacak reçinenin miktarını belirlemek için hassas tartıda karbon kumaş tartıldı.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 1. Karbon Kumaş Tartımı

Reçine üreticisinin talimatlarına göre PartA (mavi) dan 100 gr kullanılacak ise PartB (mor) den 30 gr olacak şekilde karıştırıldı. Toplam reçine miktarının %3 ve %6 oranında ferromanyetik demir tozu ilave edildi.



Görsel 2. Reçine ve Ferromanyetik Demir Tozunun Karıştırılması

Görsel 3. Hazırlanan Reçine Karışımının Karbon Kumaşa Dökülmesi

Kumaşın reçineyi tam olarak emmesi için ve içerdeki havanın çıkması için yaklaşık olarak 5 dakika beklendi. Bekleme süresi tamamlandıktan sonra üretilecek parçanın boyutuna göre ve kumaş kat sayısına göre hazırlanan çizimler reçine emdirilen karbon kumaşın üzerine serildi.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

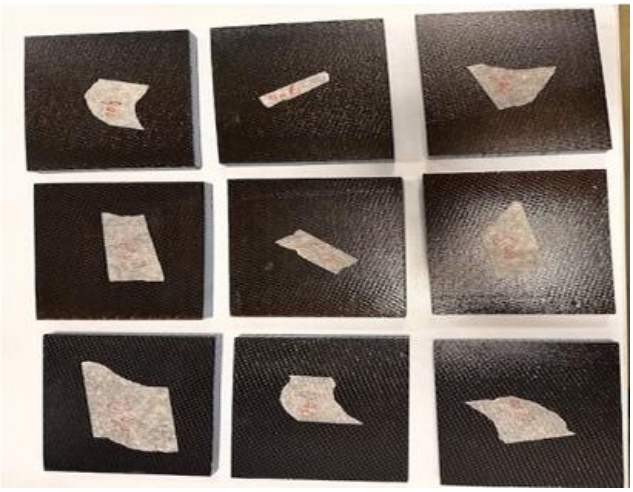
Görsel 4. Kesilen Karbon Kumaşların Bal Peteği Yapıya Serilmesi

Görsel 5. Prop ve Hava Hortumlarının Bağlantılarının Yapılıp Vakum Verilmesi

Görsel 6. Vakumlanmış Numuneye Termokupl Bağlanması

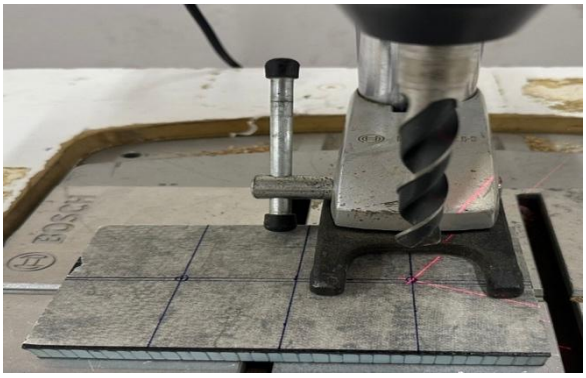
Görsel 7. Vakumlanmış Numuneye Isı Verme İşlemi

Reçine üreticisinin talimatına göre 1 saat boyunca 66 ^{o}C ısı verildi. Kür süresi bittikten sonra vakum altındaki numunenin sıcaklığı oda sıcaklığına gelince test parçası açıldı. Hazırlanan 3 adet test parçası ayrı ayrı 3 eşit parçaya bölündü. Sonuçta 1 disbondlu ferromanyetik demir tozsuz, 1 disbondlu %3 ferromanyetik demir tozlu ve 1 disbondlu %6 ferromanyetik demir tozlu numuneler elde edildi. Test numunelerinin çekme testi cihazında test edebilmek için numunelere delik açıldı.



Görsel 8. Üretilen Test Numuneleri

Görsel 9. Test Numunelerinin Kenarlarına Dolgu Malzemesi Uygulanması



Görsel 10. Test Numunelerine Delik Açma İşlemi

Pals eko tekniği, malzeme kalınlığının ölçümünde, kumaş katları arasındaki ayrılmaların tespitinde, metal malzemelerde malzemenin içinde ya da arka yüzeyindeki korozyon tespitinde, dövme malzemelerde laminasyon, döküm malzemelerde boşlukların tespitinde, bal peteği malzemelerde coredeki kırılmaların ve disbondun tespitinde, nomex core içerisindeki suyun tespitinde, metal malzemelerin içerisindeki çatlakların tespitinde kullanılan bir yöntemdir [9].

Ultrasonik Bond Testi, düşük frekanslı (5khz-350khz) ses dalgalarını kullanarak parçaların bütünlüğünü kontrol etmek ya da parçaların bileşenlerinin birbirine yapışıp yapışmadığını kontrol etmek için kullanılır. Bu çalışmada pitch-catch modu kullanılmıştır. Bu teknik, skin kalınlığının uygunluğu ve karbon kumaş ve nomex core hatalarının tespiti için uygun bir teknikdir [9].

3 nokta eğilme testi, kompozit malzemelerin eğilme mukavemeti hakkında bilgi sahibi olarak ve malzemelerin uygun kullanım alanını tespit etmek amacı ile yapılır [6]. Çekme deneyi,

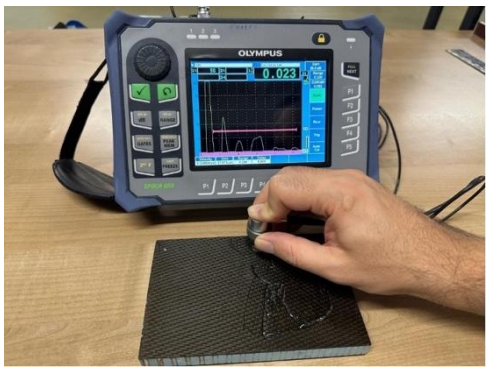
WDW-B100 model çekme test cihazında, 1 mm/dak. çekme hızında ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi [7].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

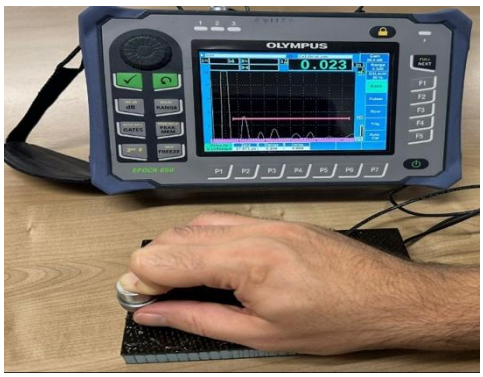
3.1. Ultrasonik Pals Eko Testi

Ultrasonik test cihazı kontrolleri gerçekleştirmek için kalibre edildi. Ferromanyetik demir tozsuz ve ferromanyetik demir tozlu olan test numunelerinin kontrolleri gerçekleştirildi. Test 5 Mhz ve 1 Mhz Transducer ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin hem ön hem de arka yüzeylerinde Ultrasonik Bondtest Testi yapılmıştır.

Görsel 11. Demir Tozsuz Numuneye 5 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması

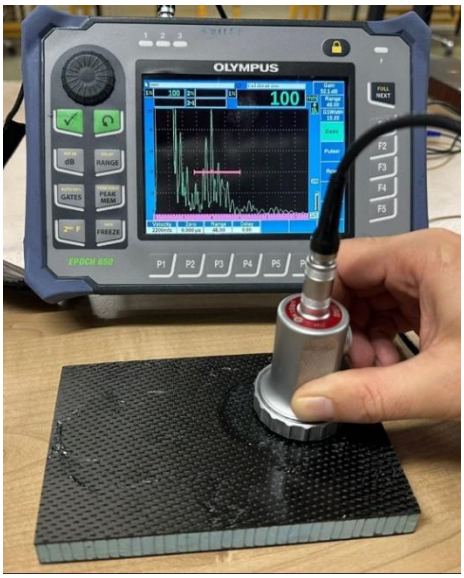


Görsel 12. %3 Demir Tozlu Numuneye 5 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması

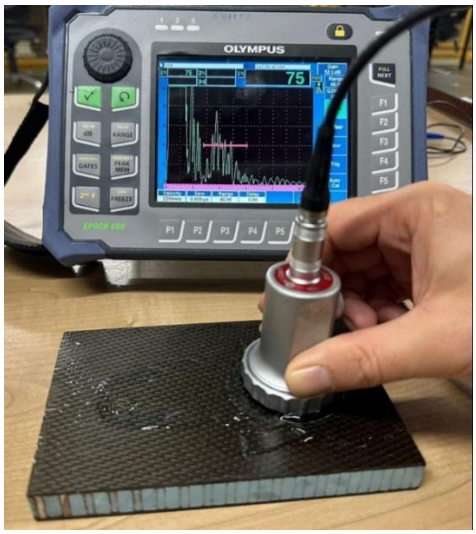


Görsel 13. %6 Demir Tozlu Numuneye 5 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması

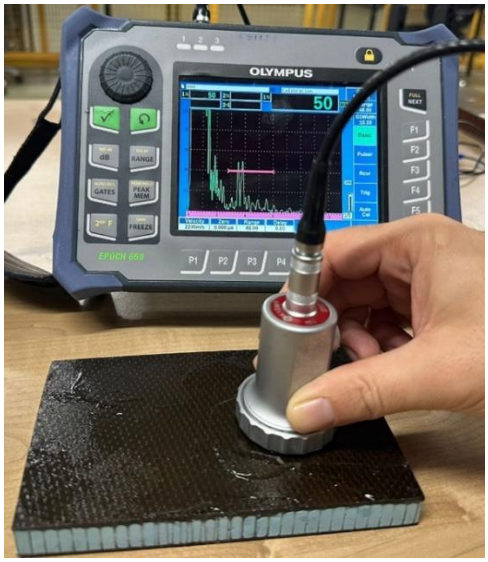
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Görsel 14. Demir Tozsuz Numuneye 1 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması



Görsel 15. %3 Demir Tozlu Numuneye 1 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması



Görsel 16. %6 Demir Tozlu Numuneye 1 Mhz Transducer ile Pals Eko Testinin Uygulanması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 17. Demir Tozsuz Numuneye Ön Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

Görsel 18. %3 Demir Tozlu Numuneye Ön Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

Görsel 19. %6 Demir Tozlu Numuneye Ön Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 20. Demir Tozsuz Numuneye Arka Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

Görsel 21. %3 Demir Tozlu Numuneye Arka Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

Görsel 22. %6 Demir Tozlu Numuneye Arka Yüzeyinden Bond Testinin Uygulanması

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

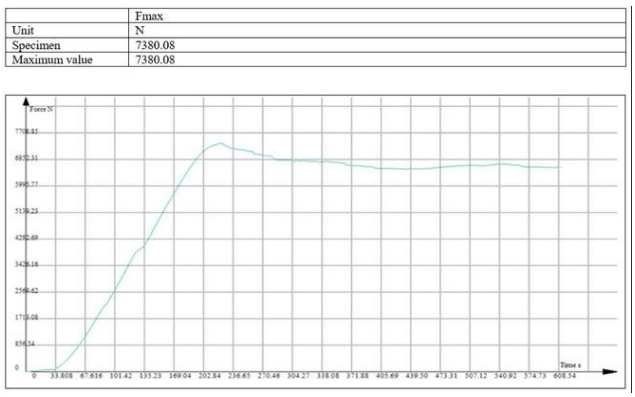
5 Mhz Transducer ile yapılan ultrasonik pals eko test sonuçlarına göre demir tozsuz olan test parçasındaki sönümleme en az olduğu için sesin genlik değeri daha yüksek çıkmaktadır. %3 demir tozu olan test parçasındaki sönümleme demir tozsuz olandan sesin genlik değeri yaklaşık %10 değerinde daha düşük gelmektedir. %6 demir tozu olan test parçasındaki sönümleme demir tozsuz olandan sesin genlik değeri yaklaşık %50 değerinde düşmüş, %3 demirtozu olandan ise sesin genlik değeri yaklaşık %33 değerinde daha düşük gelmektedir. Sonuç olarak; Ferromanyetik demir tozu oranı arttıkça ses dalgalarının malzeme içerisinde sönümlenmesi artmaktadır.

1 Mhz düşük frekanslı geniş çaplı transducer ile yapılan ultrasonik pals eko test sonuçlarına göre demir tozsuz olan test parçasında genlik (amplitude) %100 ayarlanmıştır. %3 olan test parçasında genlik %75 e düşmüştür. %6 olan test parçasında genlik %50 ye düşmüştür. Sonuç olarak; demir tozu oranı arttıkça ses dalgasının genliğinde düşüş meydana gelmiştir ve bu test yöntemi ile karbon skinden ve nomex bal peteğinden oluşan test parçasının et kalınlığı boyunca ses dalgalarının genliği karşılaştırılmıştır.

Yakın yüzey hatası bondtest sonuçlarına göre %3 demir tozu olan test numunesindeki disbonddan 4 kare yüksekliğinde sinyal alındı. Yani demir tozunun ses dalgalarını sönümlediği tespit edildi. Yaklaşık olarak %33 oranında sinyal genliğinde düşüş olmuştur. Aynı kalibrasyon ile %6 demir tozu olan test numunesindeki disbonddan alınan sinyalin genliğide 2.5 kareye düştüğü gözlemlendi. Yine ses dalgalarının sönümlendiği tespit edildi. Yaklaşık olarak %58 oranında sinyal genliğinde düşüş olmuştur.

Uzak yüzey hatası bondtest sonuçlarına göre %3 demir tozu olan test numunesindeki disbonddan 3.6 kare yüksekliğinde sinyal alındı. Yani demir tozunun ses dalgalarını sönümlediği tespit edildi. Yaklaşık olarak %22 oranında sinyal genliğinde düşüş oldu. Aynı kalibrasyon ile %6 ferromanyetik demir tozu olan test numunesindeki disbonddan alınan sinyalin genliğide 2.5 kareye düştüğü gözlemlendi. Yine ses dalgalarının sönümlendiği tespit edildi. Yaklaşık olarak %46 oranında sinyal genliğinde düşüş oldu. Bu verilerden yola çıkarak reçinesine ferromanyetik demir tozu katılmış numulerde ses dalgalarının sönümlendiği tespit edilmiştir. Ayrıca demir tozu oranı artıkkça ses dalgalarının sönümlenme miktarınında arttığı gözlemlenmiştir.

3.2 Üç Nokta Eğilme Testi

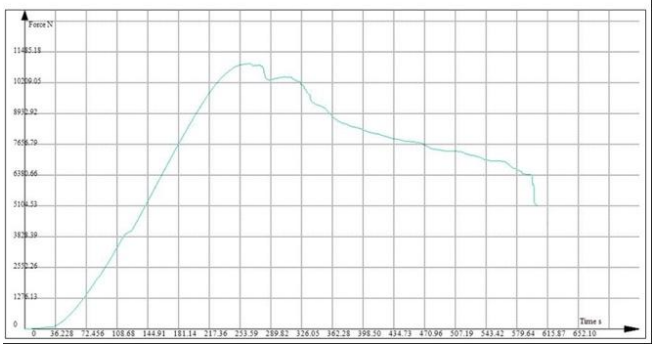


	Fmax
Unit	N
Specimen	7380.08
Maximum value	7380.08

Görsel 23. Demir Tozsuz Numunenin 3 Nokta Eğilme Testi Grafiği

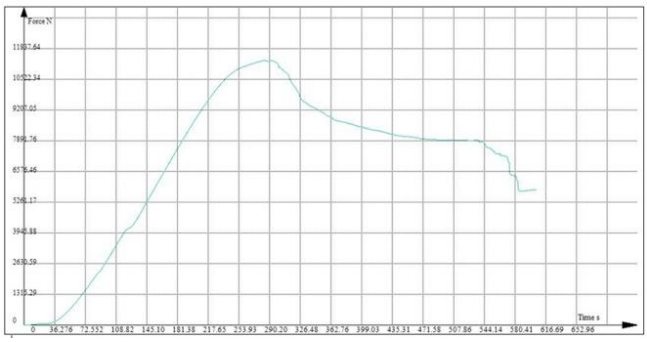
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	Fmax
Unit	N
Specimen	10996.06
Maximum value	10996.06



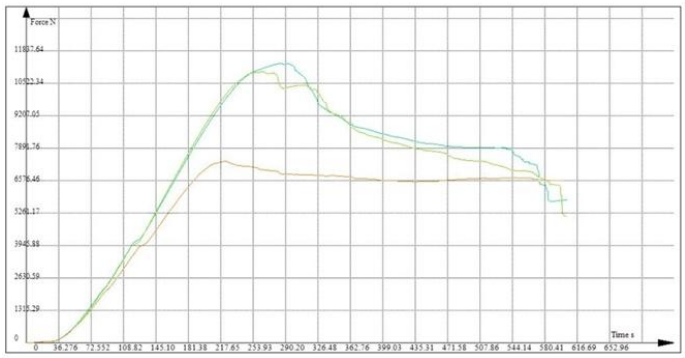
Görsel 24. %3 Demir Tozlu Numunenin 3 Nokta Eğilme Testi Grafiği

	Fmax
Unit	N
Specimen	11332.36
Maximum value	11332.36



Görsel 25. %6 Demir Tozlu Numunenin 3 Nokta Eğilme Testi Grafiği

	Fmax
Unit	N
Specimen	11332.36
Specimen	10996.06
Specimen	7380.08
Maximum value	11332.36



Görsel 26. %0, %3 ve %6 Demir Tozlu Numunelerin 3 Nokta Eğilme Testi Grafiklerinin Toplu Gösterimi

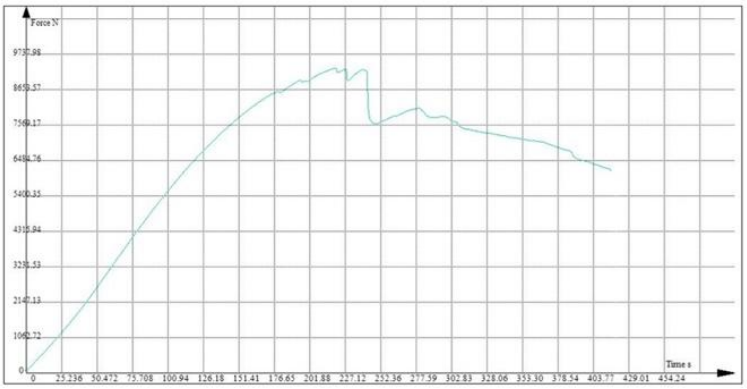
Nomex bal peteği çekirdekli ve karbon fiber takviyeli kompozit yapıların reçine matrisine farklı oranlarda ferromanyetik demir tozu ilavesi, üç nokta eğilme testi sonuçlarına göre malzemenin mekanik dayanım özelliklerini önemli ölçüde etkilemiştir. Test sonuçları incelendiğinde, katkısız numunenin maksimum eğilme yükü 7380.08 N olarak belirlenirken, %3 oranında demir tozu ilavesiyle bu değer 10996.06 N'ye yükselmiş ve ciddi bir artış sağlanmıştır. %6 katkı oranında ise maksimum yük 11332.36 N olup, %3 katkılı numuneye göre mukavemet

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

değeri yine bir parça daha artmıştır. Bu durum, düşük oranlardaki ferromanyetik tozun reçine içerisinde homojen bir dağılım sağlayarak fiber-matris arayüzey bağını güçlendirdiğini, ancak yüksek oranlarda partikül aglomerasyonunun matris bütünlüğünü olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Eğrilerin şekil analizi de bu sonucu desteklemekte; %3 dolgulu numune, yüksek rijitlik ve kararlı bir yük taşıma davranışı sergilerken, %6 dolgulu numune daha gevrek bir kırılma eğilimi göstermiştir. Dolayısıyla, bu çalışma kapsamında %3 ferromanyetik demir tozu dolgusu mekanik performans açısından optimum oran olarak değerlendirilmektedir.

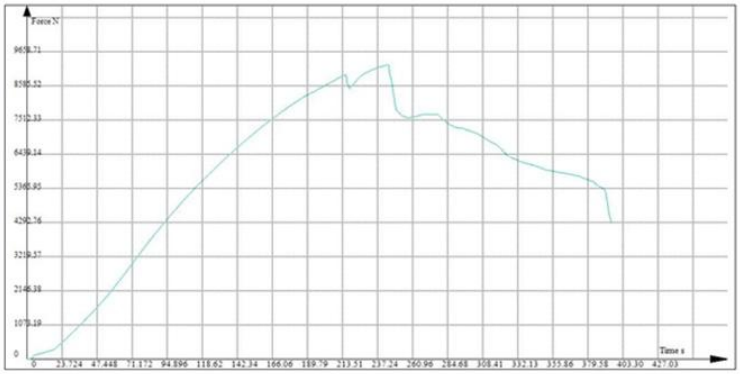
3.3 Çekme Testi

	Fmax
Unit	N
Specimen	9304.35
Maximum value	9304.35



Görsel 27. Demir Tozsuz Numunenin Çekme Testi Grafiği

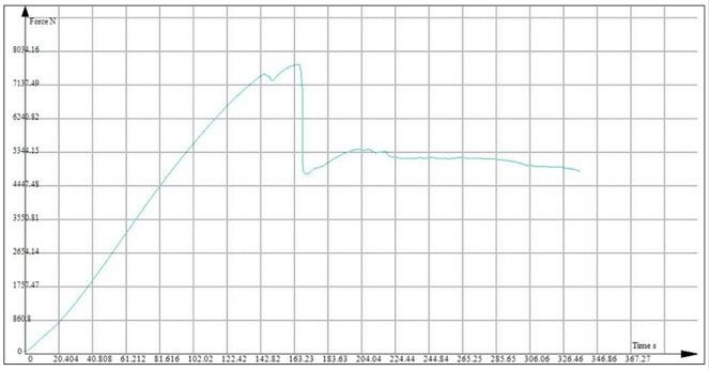
	Fmax
Unit	N
Specimen	9247.45
Maximum value	9247.45



Görsel 28. %3 Demir Tozlu Numunenin Çekme Testi Grafiği

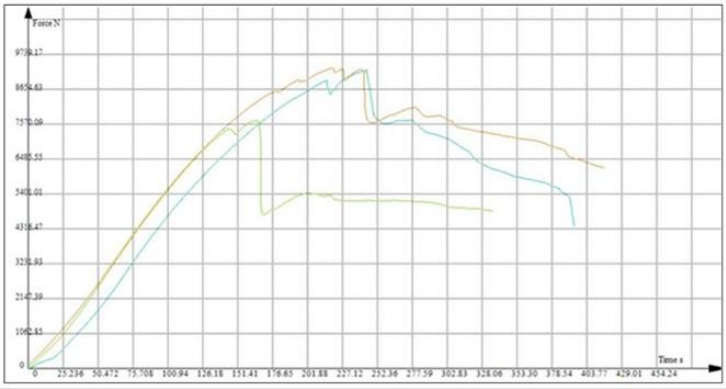
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	Fmax
Unit	N
Specimen	7685.53
Maximum value	7685.53



Görsel 29. %6 Demir Tozlu Numunenin Çekme Testi Grafiği

	Fmax
Unit	N
Specimen	7685.53
Specimen	9247.45
Specimen	9304.35
Maximum value	9304.35



Görsel 30. %0, %3 ve %6 Demir Tozlu Numunelerin Çekme Testi Grafikleri Toplu Gösterimi

Nomex bal peteği çekirdekli ve karbon fiber takviyeli kompozit yapıların çekme test sonuçları, ferromanyetik demir tozu ilavesinin mekanik performans üzerinde olumsuz bir etki oluşturduğu görülmüştür. Dolgusuz numuneye (9304.35 N) kıyasla, %3 oranında ferromanyetik toz ilavesiyle maksimum çekme yükü kısmen azalarak 9247.45 N seviyesine düşmüştür. %6 oranında dolgu ise 7685.53 N ile en düşük değeri vermiştir. Bu sonuçlar, ferromanyetik demir tozunun fiber-matris arayüzey bağını zayıflatarak yük aktarımını düşürdüğünü ve aşırı miktarda tozun gevrek kırılma davranışına neden olabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, çekme dayanımı açısından ferromanyetik demir tozu katkısız numune daha ideal gözükse de % 3 oranı ilaveli numunenin mukavemet değeri kabul edilebilir sınırda olduğu değerlendirilebilir.

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada dolgu malzemesi olarak ferromanyetik demir tozu, havacılık sektöründe kullanılan karbon kumaş ve Nomex Bal peteği yapılı malzeme kullanılarak kompozit malzeme üretilmiş ve demir tozu içeren numuneler demir tozu içermeyen numuneye göre kıyaslanarak kullanılabilirliği incelenmiştir.

Ultrasonik Pals Eko Test Sonuçlarına göre reçineye ferromanyetik demir tozu katılmış numulerde ultrasonik ses dalgalarının sönümlendiği tespit edilmiştir. Ferromanyetik demir tozu oranı arttıkça ultrasonik ses dalgalarının sönümlenme miktarının da arttığı gözlemlenmiştir.

Nomex bal peteği çekirdekli ve karbon fiber takviyeli kompozitlerin hem üç nokta eğilme hem de çekme test sonuçları, ferromanyetik demir tozu dolgusunun mekanik performans üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir. Üç nokta eğilme testinde artan demir tozu oranı ile maksimum yük değerlerinde yükselme gözlenmiş, ancak artışın en belirgin olduğu oran %3'tür. Eğilme testinde katkı, matris sertliğini ve yük taşıma kapasitesini daha fazla artırarak ciddi bir dayanım artışı sağlamıştır. Çekme testinde ise demir tozu oranı arttıkça dayanım düşmüştür. % 3 ferromanyetik demir tozu oranındaki düşüş kısmi bir düşüş olmuş, tolere edilebilir olduğu değerlendirilmiştir.

Bu sonuçlar, ferromanyetik demir tozunun optimum oranda kullanılmasıyla kompozitlerin eğilme dayanımının iyileştirilebileceğini çekme dayanımlarının ise düşeceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

1. Yağbasan, M., *Karbon fiber takviyeli kompozit plakaların çarpma açısına bağlı olarak düşük hızlı darbe davranışının ve darbe sonrası eğilme mukavemetinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Milli Savunma Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019.

2. Mert, N., *Karbon fiber takviyeli polimer plakalarla güçlendirilmiş betonarme kirişlerin doğrusal olmayan analizi,* Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.

3. Hsissou, R., Seghiri, R., Benzekri, Z., Hilali, M. ve Elharfi, A., *Polymer Composite Materials: A Comprehensive Review,* Composite Structures, 262, 113640, 2021.

4. Topkaya, T., *Bal peteği sandviç kompozitlerin darbe ön hasarı sonrası yorulma davranışlarının araştırılması,* Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2017.

5. Wang, W., Li, Z., Feng, Y., Luo, C., Liu, S., Wang, Y. ve Zhu, L., *Damage mechanism and bending properties degradation of aviation composite honeycomb sandwich structures under laser irradiation,* Optics and Laser Technology, 181, 111635, 2025.

6. Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, *Üç Nokta Eğme Testi Deney Föyü,* 2017.

7. Kaya, E. *Çekme testlerinin kompozit malzemelerde uygulanması* (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2021).

8. Sussmann, M., Amirkhosravi, M., Pishvar, M., & Altan, M. C. *Fabrication of high quality, large wet lay-up/vacuum bag laminates by sliding a magnetic tool.* Polymers, 10(9), 992, (2018).

9. Jodhani, J., Handa, A., Gautam, A., Ashwni, & Rana, R. *Ultrasonik non-destructive evaluation of composites: A review*, Materials Today: Proceedings, (2023).

10. https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/lay-up-process
(Erişim tarihi: 10.10.2025)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DÜŞÜK EMİSYONLU (LOW-E) KAPLAMALI CAMLARIN TERMAL PERFORMANSI VE U-DEĞERİ OPTİMİZASYONU

Cihan Özkul

Ege Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği,

ozkulcihan@hotmail.com - 0009-0004-4079-8528

Doç. Dr. Canan URAZ

Ege Üniversitesi/Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü,

canan.uraz@ege.edu.tr – 0000-0002-9072-1420

ÖZET

Bu çalışmada, ticari soğutma dolaplarında kullanılan yalıtımlı cam ünitelerinin enerji performansını artırmaya yönelik olarak Low-E kaplamalı camlarda U-değeri analizi gerçekleştirilmiştir. U-değerinin teorik bir parametre olması ve tam boyutlu camlarda doğrudan ölçümün güçlüğü, çalışmayı simülasyon tabanlı değerlendirme ile üretim sonrası doğrulamanın birlikte ele alındığı bir yaklaşıma yönlendirmiştir. Bu doğrultuda AGC Glass Configurator aracı kullanılarak farklı cam tipleri, spacer malzemeleri ve ara boşluk kombinasyonlarının ısı geçirgenliğine etkisi incelenmiş; Low-E kaplamaların enerji performansını belirleyen parametreler karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Türkiye'de tam boyutlu IGU'larda U-değeri ölçümü yapabilen akredite laboratuvar bulunmaması sebebiyle, çalışmada doğrulama süreci argon gaz dolgu oranı üzerinden yürütülmüştür. Üretim hattında tahribatsız ölçüm yapabilen Sparklike Laser™ cihazı kullanılarak cam ünitelerinin delinmesine gerek duyulmadan argon konsantrasyonu belirlenmiş, bu değerlerin simülasyon sonuçlarıyla uyumu değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, argon dolgu oranının %90'ın altına düşmesi durumunda U-değerinin belirgin şekilde artarak ısı yalıtım performansını olumsuz etkilediğini göstermiş ve bu eşik, kalite kontrol kriteri olarak önerilmiştir.

Sonuç olarak çalışma, Low-E kaplamalı camlarda enerji verimliliğinin yalnızca teorik modellerle değil, üretim sonrasında yapılan argon dolgu kontrolüyle doğrulanmasının zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Simülasyon verileri ile saha ölçümlerinin birlikte değerlendirilmesi, ticari soğutma sektöründe daha düşük enerji tüketimi ve uzun vadeli performans istikrarı sunan cam tasarımlarının geliştirilmesine katkı sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler:

Low-E cam, U-değeri, argon gaz ölçümü, Sparklike Laser, IGU, ticari soğutma, enerji verimliliği, spacer, AGC Glass Configurator.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ENHANCEMENT OF THE ELECTROCHEMICAL CORROSION PERFORMANCE OF Al6061 ALLOY COATED WITH Si-BASED CERAMICS BY ELECTROPHORETIC DEPOSITION

Research Assistant Dr. Burak Atik

Atatürk University/Faculty of Engineering/Department of Mechanical Engineering,

burak.atik@atauni.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-2117-9284

ABSTRACT

Aluminum (Al) 6061 is a precipitation-hardened aluminum alloy containing magnesium and silicon as the basic alloying elements. Al 6061 alloy is widely used in marine, automotive, and aerospace applications due to its low density, good formability, and high specific strength. However, the stability of the naturally occurring oxide film on the surface of Al6061 alloy deteriorates in environments with high chloride (Cl^-) content, resulting in poor corrosion resistance. In this case, it reduces the service life. Therefore, improving the surface properties of Al6061 alloy is of great importance in high Cl^- content environments, especially in marine equipment applications, in order to both limit corrosion damage and extend its service life. In this study, SiC, SiO_2, and SiC/SiO_2 coatings were applied to Al6061 alloy using the electrophoretic deposition (EPD) method, and electrochemical corrosion tests were performed in a 3.5% NaCl solution. Electrochemical corrosion tests were performed using open circuit potential (OCP) and potentiodynamic polarization tests. Ceramic-coated surfaces exhibited a more positive corrosion potential (E_{corr}), lower corrosion current density (i_{corr}), and lower corrosion rate values compared to untreated Al6061 alloy. The highest E_{corr} value of -816 mV, the lowest E_{corr} value of 2.750×10^{-6} and the lowest corrosion rate value of 1.192 mm/year were obtained on the SiC/SiO_2 composite coated surface. Due to the compact structure of SiC, SiO_2, and SiC/SiO_2 ceramic coatings produced by the EPD method, Cl^- ion diffusion to the substrate surface was restricted, effectively increasing the service life of Al6061 alloy in high Cl^- containing environments.

Keywords: Al6061 alloy; EPD; SiC; SiO_2; corrosion

1. Introduction

Aluminum (Al) is a lightweight metal that can form different alloy series, each exhibiting its own unique physical and chemical properties. Due to their low density, high strength, and ease of shaping, they are widely preferred in numerous engineering and industrial applications [1,2]. Aluminum and its alloys possess high corrosion resistance thanks to the thin and stable oxide film that forms spontaneously on the surface. This oxide film formed on the surface acts as a protective barrier by passivating the metal surface against environmental effects [3]. Among the aluminum alloy series, Al6061 alloy is from the 6XXX series, which contains the alloying elements Al–Mg–Si [4]. Thanks to its combination of low density and high strength, it is widely used, particularly in marine equipment, automotive parts, and aerospace components. Particularly in marine equipment applications, chloride ions (Cl^-) present in seawater attack the natural oxide layer on the alloy surface, disrupting film stability and leading to the formation of localized corrosion types (especially pitting and crevice corrosion) [2,5]. This situation limits the direct use of Al6061 alloy in marine environments and reduces the service life of the material. Therefore, developing protective coating methods to improve the corrosion resistance of Al6061 alloy in marine environments is of great importance.

Surface modification of aluminum and its alloys is of great importance in terms of increasing corrosion and wear resistance and for this purpose, ceramic-based coating techniques have been widely used in recent years. Ceramic-based coatings stand out for their properties such as high temperature resistance, hardness, corrosion resistance, and chemical stability. Thanks to these properties, aluminum alloys are considered promising coating materials for improving corrosion resistance [6,7]. Accordingly, ceramic particles such as SiC and SiO_2 are widely used to improve the surface properties of Al and alloys due to their high hardness, chemical stability, and protective barrier-forming properties [8,9]. Silicon carbide (SiC) stands out as a multifunctional protective coating material for metallic substrates thanks to its superior physical and chemical properties such as high hardness, chemical stability, low coefficient of friction, and high temperature resistance [10]. These properties enable SiC coatings to form an effective protective barrier on the surface of Al-based alloys, especially in corrosive and chloride ion-containing environments. SiC forms a hard and compact structure on the surface, limiting ion diffusion and thus slowing down corrosion progression [11]. In addition, silicon dioxide (SiO_2) acts as an additional passive barrier layer due to its low thermal conductivity, high oxidation resistance, and chemical stability [11–13]. Furthermore, the combined use of SiC and SiO_2 ceramic particles increases both the mechanical strength and chemical stability of the coating, resulting in a more corrosion-resistant surface [14,15].

These ceramic particles can be applied to the surface of aluminum alloys using various coating methods. Among these methods, electrophoretic deposition (EPD) stands out due to its applicability at low temperatures, easy control of coating thickness, and environmentally friendly nature [16]. SiC, SiO_2, and SiC/SiO_2 hybrid coatings obtained by the EPD method form a compact barrier layer on the aluminum surface, limiting ion diffusion and significantly increasing corrosion resistance in chloride ion-rich environments such as 3.5% NaCl solution [16,17]. These coatings are considered an effective surface modification strategy for extending the service life of the Al6061 alloy in marine environments and preserving surface integrity.

In this study, SiC, SiO_2 and SiC/SiO_2 coatings will be applied to the Al6061 alloy using the EPD method. Electrochemical corrosion tests of ceramic-coated Al6061 alloy were performed in a 3.5% NaCl solution using open circuit potential (OCP) and potentiodynamic polarization measurements. Phase analyses of the samples were performed using X-ray diffraction (XRD). Surface images of the samples before and after electrochemical corrosion were obtained using an optical microscope.

2. Experimental Details

2.1. Sample Production and EPD process

The Al6061 alloy supplied in bar form (2.5 cm diameter) was sliced into 4 mm thick sections using the wet cutting method. After cutting, the sample surfaces were polished with SiC sandpaper of 60-220-400-800-1200 mesh. Subsequently, the sample surfaces were subjected to a final surface polishing process using 5 µm alumina (Al_2O_3) powders. Following surface polishing, all samples were washed in an ethanol bath for 8 minutes using an ultrasonic cleaner.

The surface of the polished Al6061 alloy has been coated with SiC and SiO_2 ceramic powders using the electrophoretic deposition (EPD) method. The EPD method was used to prepare three different solutions for SiC, SiO_2, and SiC/SiO_2 coating processes. The components and concentration values of the EPD solutions used in this study are given in Table 1. The coating solutions were stirred at room temperature for 8 hours, then subjected to sonication in a 50 kHz ultrasonic bath for 15 minutes to eliminate any clumping within the solution. The distance between the anode and cathode is set at 20 mm. The Al6061 alloy is used as the cathode, and a 30×30×3 mm graphite plate is used as the anode. The EPD process was performed using a DC power supply at 100V for 3 minutes. After the EPD process, the samples were dried in a desiccator at room temperature for 24 hours.

Table 1. Composition of coating solutions prepared by the EPD method

Sample Code	SiC (g/L)	SiO_2 (g/L)	Solvent
Al- SiO_2	-	1	Ethanol
Al- SiC	1	-	Ethanol
Al-SiC/SiO_2	0.5	0.5	Ethanol

2.2. Electrochemical Corrosion Tests

Electrochemical corrosion tests were performed in a 3.5% NaCl solution for all sample groups. Electrochemical corrosion tests were performed using Open Circuit Potential (OCP) and subsequent potentiodynamic polarization measurements with the Gamry G750 Potentiostat/Galvanostat system. Corrosion tests were performed using a triple electrode system. The reference electrode is Ag/AgCl, the counter electrode is a graphite rod, and the working electrode is the workpiece. After OCP measurements were performed for 3600 seconds, potentiodynamic polarisation measurements were carried out at a scanning rate of 1 mV/s-1 between -1 mV and +2 mV. During the corrosion tests, the surface area in contact with the solution was 3.14 cm^2.

2.3. Structural and Surface Characterisation

Phase analyses of untreated and coated samples were performed using a PANalytical EMPYREAN X-ray diffractometer (XRD) instrument employing CuKα (λ = 1.54050 Å) radiation. Surface images of untreated Al6061 and Si-based ceramic-coated (Al-SiO_2, Al-SiC and Al-SiC/SiO_2) samples were obtained using an optical microscope before and after electrochemical corrosion.

3. Results and Discussion

Optical microscope surface images of untreated Al6061 alloy and Si-based ceramic-coated samples are given in Fig. 1. Examination of the images reveals that the surface morphology varies significantly depending on the type of coating. The ceramic films were generally obtained in a homogeneous and uniform form. The SiC-coated surface (Fig. 1c) yielded a denser, more compact, and smoother film structure compared to the SiO_2 coated surface (Fig. 1b). This situation enhances the integrity of the coating, thereby strengthening its protective barrier effect [18–20]. The most homogeneous and uniform morphology was obtained on the SiC/SiO_2 composite coated surface (Fig. 1d). Furthermore, as seen in the optical

images, the voltage and duration applied during the EPD process did not have a negative effect on coating homogeneity, and no cracks or peeling were observed on the surfaces. These results demonstrate that coatings produced using the EPD method form a continuous and stable film structure across the surface.

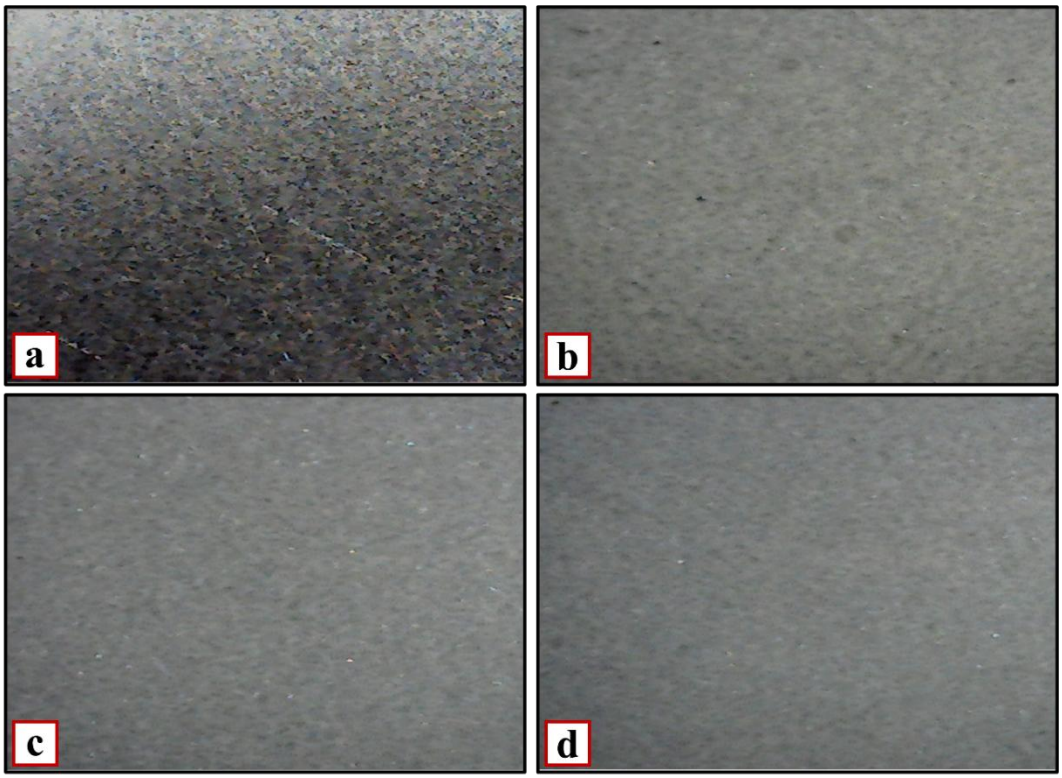


Fig. 1. Optical microscope surface images of untreated and ceramic-coated Al6061 samples using the EPD method: (a) Unt-Al6061, (b) Al-SiO_2, (c) Al-SiC and (d) Al-SiC/SiO_2

X-ray diffraction (XRD) patterns of untreated and Si-based ceramic coated samples are given in Fig. 2. In the XRD diffraction pattern of the untreated Al6061 alloy, characteristic diffraction peaks belonging to the α-Al phase were observed at approximately 38.4°, 44.7°, 82.5°, and 99.0° 2θ values [21]. The XRD diffraction pattern of the Al-SiO_2 sample revealed a broad, low-intensity peak in the 20-22.5° 2θ range, indicating that the SiO_2 coating obtained by the EPD method has an amorphous character [22]. Looking at the graph for the SiC-coated surface, the presence of characteristic peaks observed at 2θ values of 35.6°, 41.4°, 60.0° and 71.8° indicates that the SiC consists of the β-SiC phase [23–25]. The XRD graph of the Al-SiC/SiO_2 sample shows the presence of diffraction peaks belonging to SiC. Additionally, a broad diffraction pattern (2θ=20-22.5°) is observed due to the amorphous structure of SiO_2. The presence of XRD diffraction patterns belonging to the substrate material is seen on all coated surfaces.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

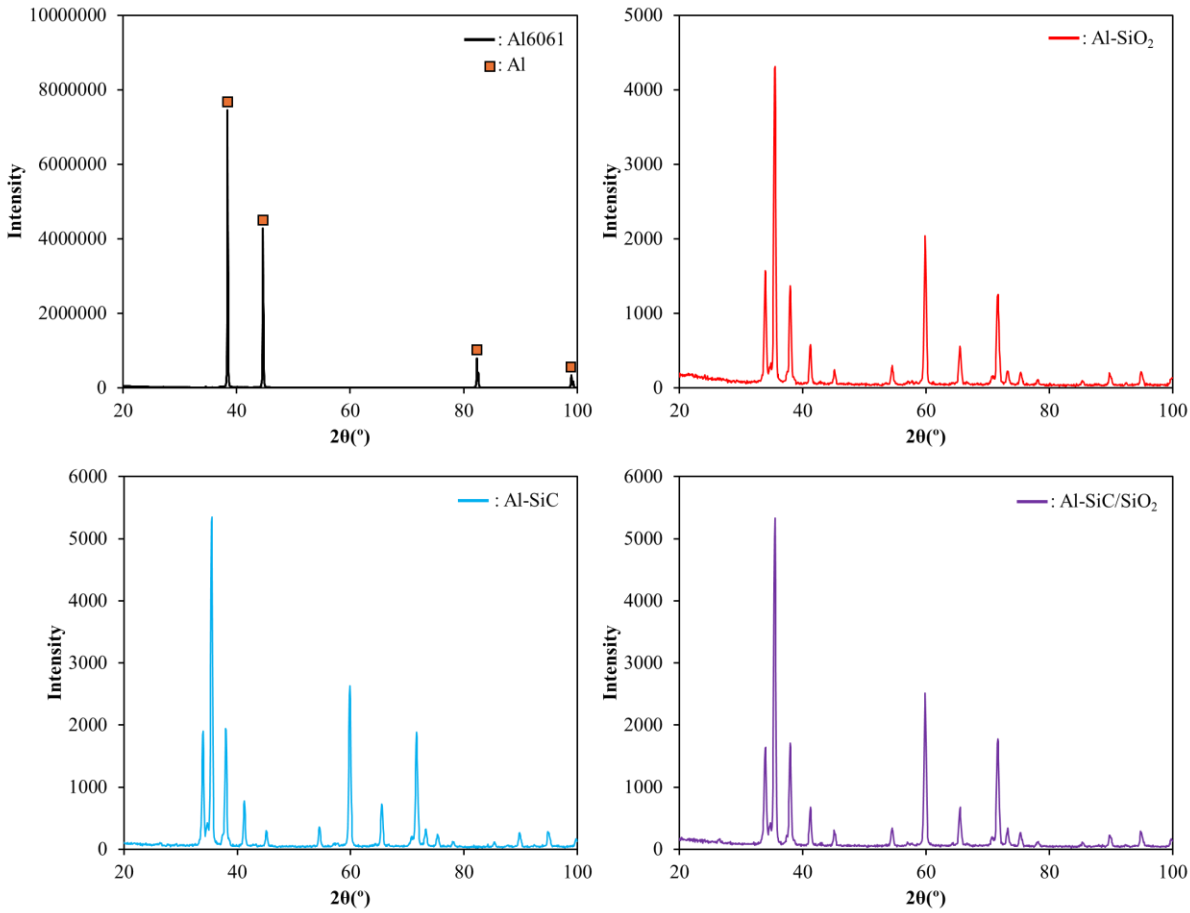


Fig. 2. XRD graphs of untreated and Si-based ceramic coated Al6061 samples.

Fig. 3 shows the graphs obtained after OCP measurements performed on untreated Al6061 alloy and ceramic-coated surfaces in a 3.5% NaCl solution. OCP is one of the fundamental parameters for evaluating corrosion thermodynamics during electrochemical reactions [26]. OCP tests were performed for 3600 seconds. When examining the OCP curve of the untreated Al6061 alloy (Fig. 3a), it can be seen that the potential shifts towards positive values in a short period of time and reaches a stable value. This phenomenon is associated with naturally occurring Al_2O_3 and $Al(OH)_3$ passive film layers on the surface [27–29]. On ceramic-coated surfaces, it has been observed that the potential shifts towards the positive over time, and these surfaces exhibit stable passive behaviour. In the Al-SiO_2 sample, it was shown that the passive film was more stably maintained on the surface, exhibiting a more stable potential behavior thanks to the chemical stability of SiO_2 (Fig. 3b) [30]. In the Al-SiC sample, ion diffusion was limited due to the dense and compact structure of the SiC coating, thus the potential curve became more stable over time (Fig. 3c) [17]. A similar situation was observed in the Al-SiC/SiO_2 sample. In the Al-SiC and Al-SiC/SiO_2 samples, a potential drop was observed with the onset of immersion. This situation can be attributed to the passive film formed

on the surface breaking down and reforming upon the initial contact of Cl^- ions with the surface [3,31,32].

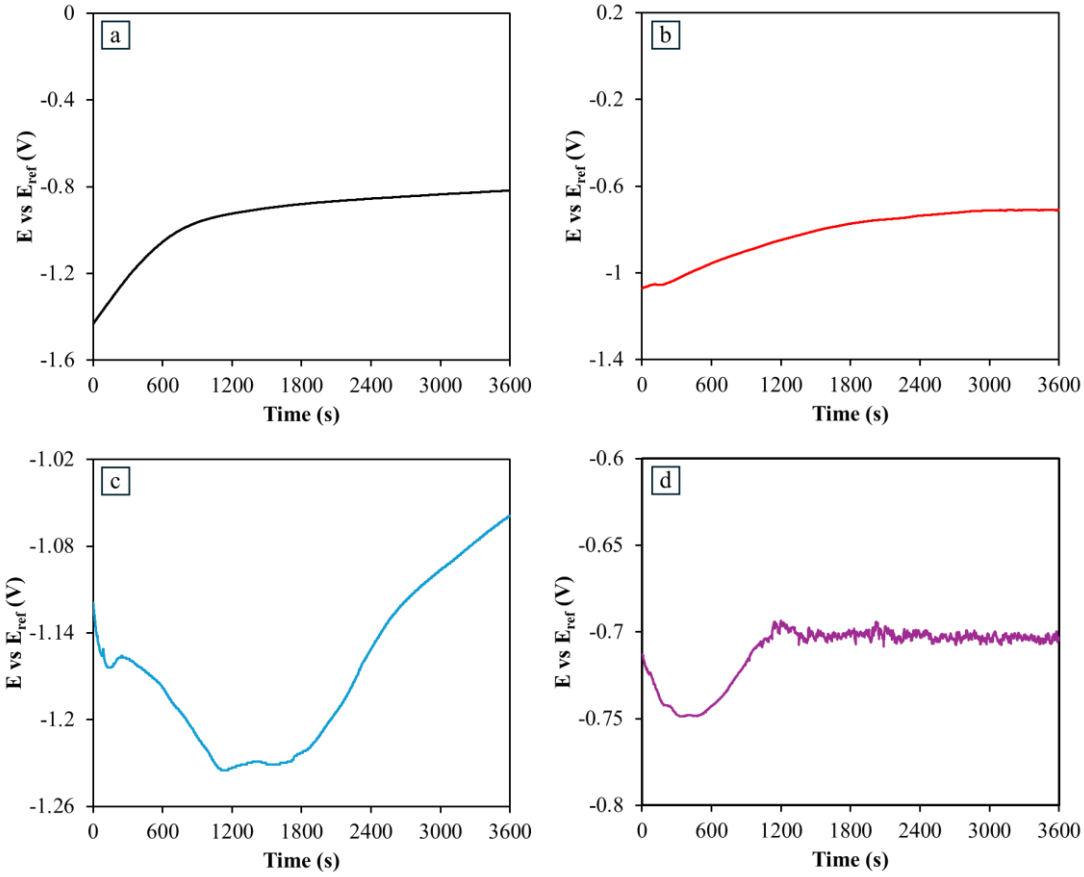


Fig. 3. OCP curves of untreated and ceramic coated Al6061 alloy in 3.5 wt.% NaCl solution: (a) unt-Al6061, (b) Al–SiO_2, (c) Al–SiC and (d) Al–SiC/SiO_2

Fig. 4 shows the potentiodynamic polarisation curves obtained in 3.5% NaCl solution. From the potentiodynamic polarisation curves, the anodic Tafel slope (βa), cathodic Tafel slope (βc), corrosion potential (E_{corr}), corrosion current density (i_{corr}) and Corrosion Rate values were obtained using the Tafel extrapolation method (Table 2). Compared to unt-Al6061 alloy, the Ecorr values of ceramic-coated surfaces are seen to be more positive. The E_{corr} value of unt-Al6061 was -1290 mV, while in Al-SiO_2, Al-SiC, and Al-SiC/SiO_2 samples, it was measured as -1160 mV, -1090 mV and -816 mV, respectively, showing a significant positive increase. This positive change in E_{corr} demonstrates an increase in corrosion resistance [33,34]. Furthermore, corrosion current density (i_{corr}) is directly proportional to the corrosion rate and is an important parameter for evaluating corrosion kinetics. It can be said that corrosion resistance increases with decreasing current density (i_{corr}) [34,35]. Therefore, the icorr value of unt-Al6061 was measured as 69.80×10^{-6} A/cm^2, while in Al-SiO_2, Al-SiC and Al-SiC/SiO_2 samples, it was

measured as 17.90×10^{-6} A/cm^2, 13.30×10^{-6} A/cm^2 and 2.750×10^{-6} A/cm^2, respectively. Thus, it has been observed that ceramic-coated surfaces have low corrosion rates. Overall, the Al-SiC/SiO_2 sample shows the highest corrosion resistance according to both Ecorr and icorr values (Table 2). Furthermore, the ceramic coatings on the Al6061 alloy have low electrical conductivity, acting as a barrier to low electron transport within the solution. Thus, high corrosion resistance was achieved in the Al6061 alloy in an aggressive environment, namely a 3.5% NaCl solutionConsequently, the corrosion resistance ranking is Al-SiC/SiO_2>Al-SiC>Al-SiO_2>unt-Al6061, with the composite coating exhibiting the most effective barrier performance.

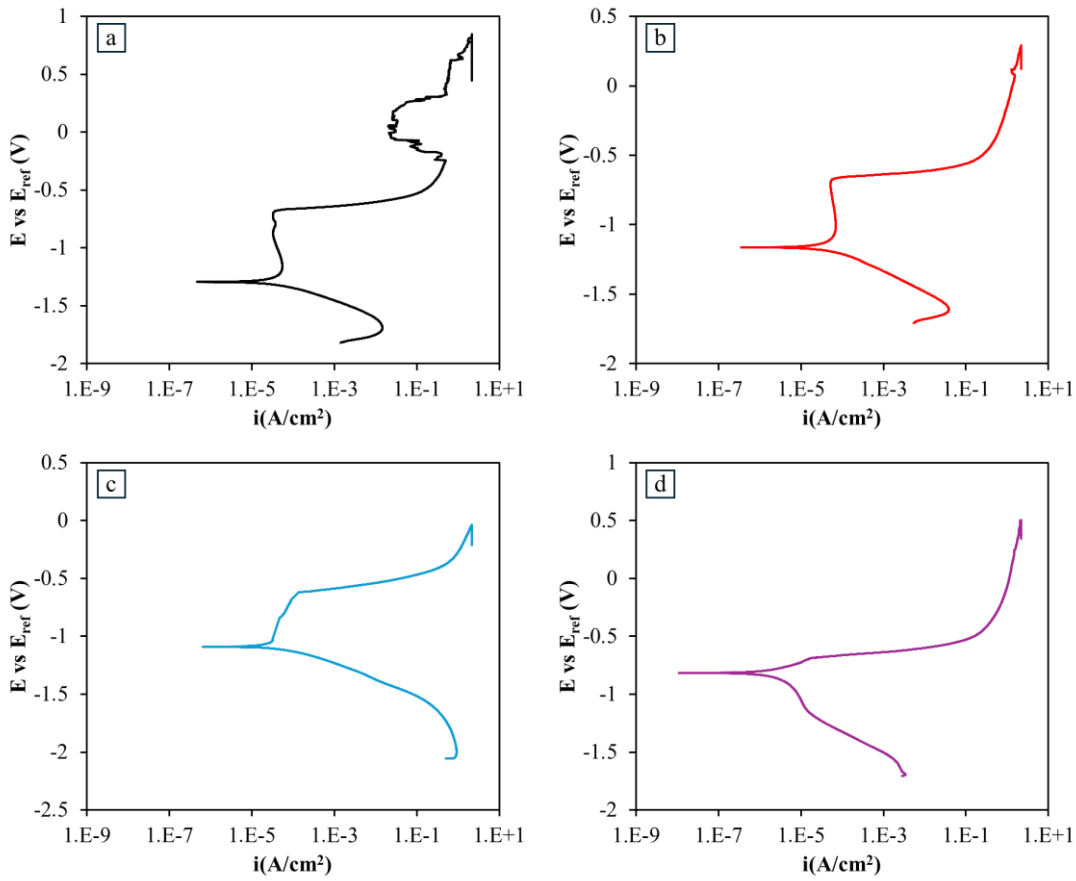


Fig. 4. Potentiodynamic polarization curves of untreated and ceramic coated Al6061 alloy in 3.5 wt.% NaCl solution: (a) unt-Al6061, (b) Al–SiO_2, (c) Al–SiC and (d) Al–SiC/SiO_2

SiC coating exhibited higher corrosion resistance compared to SiO_2 coating. Because SiC is more compact, harder, and has lower porosity, it delays the penetration of Cl^- ions present in the solution to the substrate surface. Furthermore, examining the optical microscope images provided in Fig.1 reveals that the SiC coating possesses a more homogeneous, compact, and continuous film morphology, indicating that this coating forms a significantly more effective protective barrier on the surface compared to the SiO_2 coating. In the Al-SiC/SiO_2 sample, the

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

synergistic effect of both phases resulted in a denser, more integrated film structure that provides a superior barrier against ion diffusion, enabling the corrosion resistance to reach the highest level among other coated samples.

Table 2. Results of Electrochemical Corrosion Tests

Samples	β_a (mV/decade)	β_c (mV/decade)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (A/cm^2)	Corrosion Rate (mm/year)
Unt-Al	872×10^{-3}	153.9×10^{-3}	-1290	69.80×10^{-6}	30.32
Al-SiO_2	75.30×10^{-3}	51×10^{-3}	-1160	17.90×10^{-6}	7.756
Al-SiC	81.60×10^{-3}	38.30×10^{-3}	-1090	13.30×10^{-6}	5.781
Al-SiC/SiO_2	175.3×10^{-3}	232.9×10^{-3}	-816	2.750×10^{-6}	1.192

Fig. 5 shows optical microscope surface images of unt-Al6061 alloy and ceramic-coated surfaces after electrochemical corrosion tests performed in a 3.5% NaCl solution. Fig. 5a shows that the unt-Al6061 alloy surface exhibits uniform corrosion damage. Furthermore, the presence of Cl^- ions in the solution also caused pitting corrosion damage on the surface. Looking at the image of the Al-SiO_2 sample (Fig. 5b), partial deterioration is visible on the surface due to the stability of the ceramic filmFor this reason, it has been observed that the corrosion damage occurring on the surface is more limited compared to the unt-6061 alloy. The presence of limited corrosion damage on the Al-SiC sample surface is noteworthy. This situation has limited the access of Cl^- ions to the substrate material due to the homogeneous and compact structure of the SiC film on the surface. On the Al-SiC/SiO_2 surface (Fig.5d), the lowest surface damage and the most limited corrosion damage are observed. The formation of a homogeneous film layer of SiC and SiO_2 ceramic particles on the surface during the EPD process (Fig.1b-c) provides an advantage in terms of corrosion resistance. Furthermore, the synergistic effect of both SiC and SiO_2 ceramic particles resulted in a stronger and more effective barrier against Cl^- ions in the aggressive environment of a 3.5% NaCl solution.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

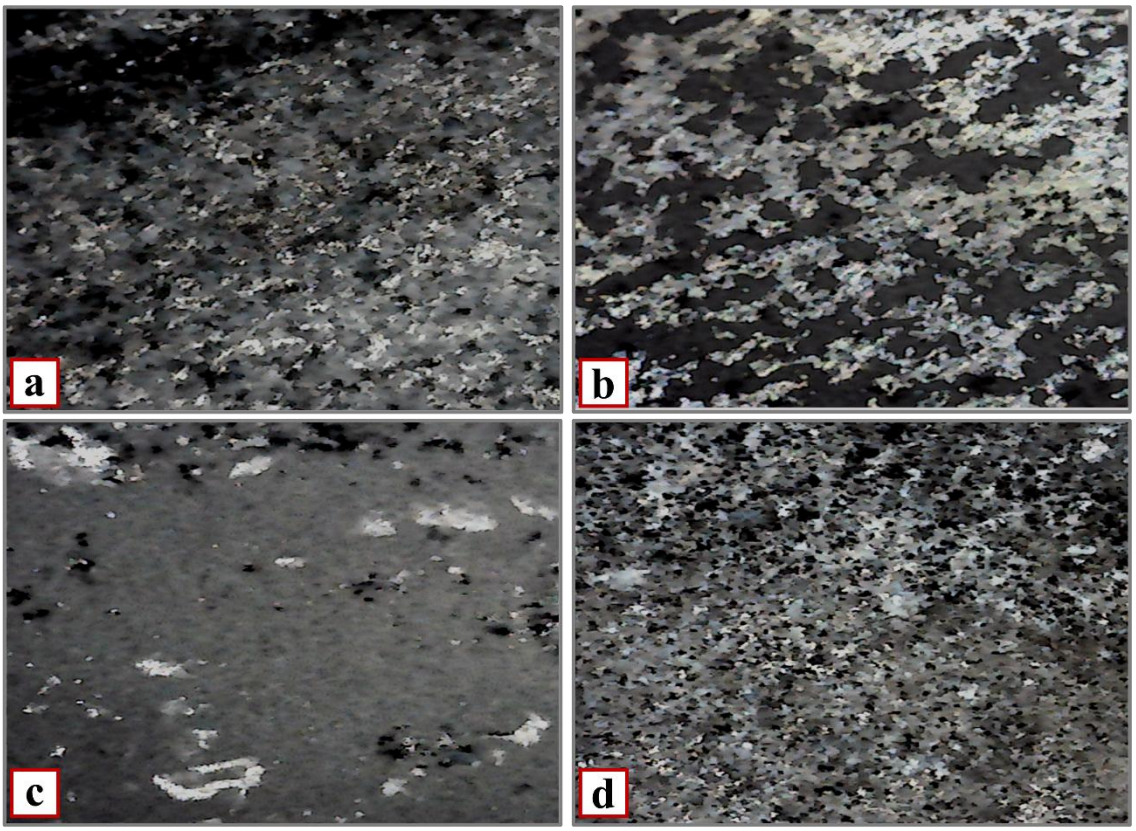


Fig. 5. Optical microscope surface images of the uncoated and ceramic-coated Al6061 samples after immersion in 3.5 wt.% NaCl solution. (a) Uncoated Al6061, (b) Al–SiO_2, (c) Al–SiC and (d) Al–SiC/SiO_2

4. Conclusion

To improve the corrosion performance of Al6061 alloy in high Cl-containing marine applications, SiO_2, SiC, and SiC/SiO_2 coatings were applied using the EPD method. Electrochemical corrosion tests were performed on the coated samples in a 3.5% NaCl solution. The results are given below.

- The surface morphology of Si-based ceramic coatings applied to Al6061 alloy varied depending on the coating type. In particular, the SiC/SiO_2 composite coating provided the most homogeneous, compact, and continuous film structure.
- According to the XRD results, characteristic peaks of Al6061 alloy, SiC, and SiO_2 were obtained.
- Electrochemical corrosion tests revealed that ceramic-coated surfaces exhibited a more positive corrosion potential (E_{corr}), lower corrosion current density (i_{corr}), and lower corrosion rate compared to unt-Al6061 alloy. On SiC/SiO_2 composite coated surface, the highest Ecorr value was -816 mV, the lowest Ecorr value was $2.750\times10_{-6}$ A/cm^2, and the lowest corrosion rate value was 1.192 mm/year.

- Following electrochemical corrosion testing, distinctly uniform corrosion damage was observed on the unt-Al6061 alloy surface. Corrosion damage was reduced on SiO_2 and SiC coated surfaces. The lowest damage was obtained on the Al-SiC/SiO_2 composite coated surface due to the synergistic effect of SiC and SiO_2.

References

[1] M. Starostin, G.E. Shter, G.S. Grader, Corrosion of aluminum alloys Al 6061 and Al 2024 in ammonium nitrate-urea solution, Materials and Corrosion 67 (2016) 387–395.

[2] C. Peng, G. Cao, T. Gu, C. Wang, Z. Wang, C. Sun, The corrosion behavior of the 6061 Al alloy in simulated Nansha marine atmosphere, Journal of Materials Research and Technology 19 (2022) 709–721.

[3] P. Pantazopoulou, S. Kalogeropoulou, S. Theohari, E. Papamichalis, D. Tzeli, Evaluation of Crocin as green corrosion inhibitor for aluminum in NaCl solution, Chem Eng Commun 210 (2023) 1756–1772.

[4] Y. Zhao, S. Niverty, X. Ma, N. Chawla, Correlation between corrosion behavior and grain boundary characteristics of a 6061 Al alloy by lab-scale X-ray diffraction contrast tomography (DCT), Mater Charact 193 (2022) 112325.

[5] S. Zhang, T. Zhang, Y. He, D. Liu, J. Wang, X. Du, B. Ma, Long-term atmospheric corrosion of aluminum alloy 2024-T4 in coastal environment: Surface and sectional corrosion behavior, J Alloys Compd 789 (2019) 460–471.

[6] T.A. Aljohani, M.O. Alawad, S. Elkatatny, A.I. Alateyah, M.T. Bin Rubayan, M.A. Alhajji, M.I. AlBeladi, F. Khoshnaw, W.H. El-Garaihy, T.A. Aljohani, M.O. Alawad, S. Elkatatny, A.I. Alateyah, M.T. Bin Rubayan, M.A. Alhajji, M.I. AlBeladi, F. Khoshnaw, W.H. El-Garaihy, Electrochemical Behavior of SiC-Coated AA2014 Alloy through Plasma Electrolytic Oxidation, Materials 2022, Vol. 15, 15 (2022).

[7] G. Hao, D. Zhang, L. Lou, L. Yin, High-temperature oxidation resistance of ceramic coatings on titanium alloy by micro-arc oxidation in aluminate solution, Progress in Natural Science: Materials International 32 (2022) 401–406.

[8] Z. Li, G. Ma, Z. Wang, J. Wang, Y. Sun, R. Kou, S. Ren, Microstructural and corrosion characteristics of coatings on SiC/2009 aluminum matrix composites fabricated via plasma electrolytic oxidation: Variation with Zr4+ concentration, Ceram Int 51 (2025) 30669–30683.

[9] X. Li, S. Du, C. Ma, T. Shi, W. Qi, H. Yang, Nano-SiO2 based anti-corrosion superhydrophobic coating on Al alloy with mechanical stability, anti-pollution and self-cleaning properties, Ceram Int 50 (2024) 9469–9478.

[10] Y. Qi, J. Gao, W. Liang, Q. Miao, F. Jia, X. Chang, H. Lin, Y. Qi, J. Gao, W. Liang, Q. Miao, F. Jia, X. Chang, H. Lin, A Comparison of the Tribological Properties of SiC Coatings Prepared via Atmospheric Plasma Spraying and Chemical Vapor Deposition for Carbon/Carbon Composites, Lubricants 2024, Vol. 12, 12 (2024).

[11] H. Kan, L. Qi, J. Wu, H. Kan, L. Qi, J. Wu, Preparation and Properties of Al-SiC Composite Coatings from AlCl3-LiAlH4-Benzene-THF System, Coatings 2025, Vol. 15, 15 (2025).

[12] B. Wu, L. Zhang, L. Chen, J. Wang, Z. Gao, J. Feng, B. Wu, L. Zhang, L. Chen, J. Wang, Z. Gao, J. Feng, Influences of SiO2 Additions on the Structures and Thermal Properties of AlTaO4 Ceramics as EBC Materials, Coatings 2025, Vol. 15, 15 (2025).

[13] X. Liu, Y. Wan, X. Zhang, X. Liu, Y. Wan, X. Zhang, Preparation and Corrosion Properties of TiO2-SiO2-Al2O3 Composite Coating on Q235 Carbon Steel, Coatings 2023, Vol. 13, 13 (2023).

[14] F. Li, W. Zheng, Y. Wang, W. Dang, Z. Xu, X. Zhang, K. Zhao, Z. Yuan, Y. Tang, Effect of SiC fillers on the microstructure, adhesive strength and corrosion resistance of polycarbosilane-derived coating on steel, Mater Today Chem 39 (2024) 102152.

[15] M. Nadimi, C. Dehghanian, A. Etemadmoghadam, Influence of SiO2 nanoparticles incorporating into ceramic coatings generated by PEO on Aluminium alloy: Morphology, adhesion, corrosion, and wear resistance, Mater Today Commun 31 (2022) 103587.

[16] L. Besra, M. Liu, A review on fundamentals and applications of electrophoretic deposition (EPD), Prog Mater Sci 52 (2007) 1–61.

[17] T.A. Aljohani, M.O. Alawad, S. Elkatatny, A.I. Alateyah, M.T. Bin Rubayan, M.A. Alhajji, M.I. AlBeladi, F. Khoshnaw, W.H. El-Garaihy, T.A. Aljohani, M.O. Alawad, S. Elkatatny, A.I. Alateyah, M.T. Bin Rubayan, M.A. Alhajji, M.I. AlBeladi, F. Khoshnaw, W.H. El-Garaihy, Electrochemical Behavior of SiC-Coated AA2014 Alloy through Plasma Electrolytic Oxidation, Materials 2022, Vol. 15, 15 (2022).

[18] F. Bouyer, A. Foissy, Electrophoretic deposition of silicon carbide, Journal of the American Ceramic Society 82 (1999) 2001–2010.

[19] Z. Hayati, B. Hoomehr, K. Raeissi, The role of silica on the superiority of corrosion barrier performance and biological properties of sintered titania-silica composite coating electrophoretically deposited on 316L stainless steel, Journal of Materials Research and Technology 29 (2024) 644–655.

[20] B. Rynkus, K. Szawiraacz, A. Taratuta, A. Orłowska, K. Wilk, J. Kolasa, M. Antonowicz-Hüpsch, M. Sowa, R. Major, Ł. Major, P. Kurtyka, J. Chwiej, A. Wilk, H. Knap, M. Basiaga, EPD-derived SiO2 coatings on NiTi alloys: Biocompatibility and corrosion challenges in cardiovascular applications, Journal of Materials Research and Technology 39 (2025) 5637–5651.

[21] G.C. Karar, R. Kumar, S. Chattopadhyaya, S. Dewangan, Comparative study of AA6061 and AA6063 aluminum alloy coating on mild steel using friction surfacing, Scientific Reports 2025 15:1 15 (2025) 17693.

[22] X. Song, N. Jiang, Y. Li, D. Xu, G. Qiu, Synthesis of CeO2-coated SiO2 nanoparticle and dispersion stability of its suspension, Mater Chem Phys 110 (2008) 128–135.

[23] B.S. Sung, Y.H. Yun, SiC Conversion Coating Prepared from Silica-Graphite Reaction, Advances in Materials Science and Engineering 2017 (2017) 6383084.

[24] S. Chowdhury, M.T. Laugier, J. Henry, XRD stress analysis of CVD diamond coatings on SiC substrates, Int J Refract Metals Hard Mater 25 (2007) 39–45.

[25] J.G. Kim, E.J. Jung, Y. Kim, Y. Makarov, D.J. Choi, Quality improvement of single crystal 4H SiC grown with a purified β-SiC powder source, Ceram Int 40 (2014) 3953–3959.

[26] S. Zhang, C. Wang, S. Zhao, A. Niu, Y. Ma, B. Liu, Enhanced long-term corrosion protection of 2A14 aluminum alloy: Hybrid effect of micro-arc oxidation coating and cerium based conversion treatment, Surf Coat Technol 464 (2023) 129579.

[27] S. Khireche, D. Boughrara, A. Kadri, L. Hamadou, N. Benbrahim, Corrosion mechanism of Al, Al–Zn and Al–Zn–Sn alloys in 3 wt.% NaCl solution, Corros Sci 87 (2014) 504–516.

[28] K. Zhang, W. Yang, B. Xu, Y. Chen, X. Yin, Y. Liu, H. Zuo, Inhibitory effect of konjac glucomanan on pitting corrosion of AA5052 aluminium alloy in NaCl solution, J Colloid Interface Sci 517 (2018) 52–60.

[29] C.C. Pan, D.H. Xia, M.Y. Hou, Z. Qin, Y. Xu, Y. Behnamian, W. Hu, Cavitation erosion of the AA7050 aluminum alloy in 3.5 wt% NaCl solution—Part 1: mitigating effect by corrosion, Corros Sci 232 (2024) 112012.

[30] Jáquez-Muñoz, J. M., Vázquez-Nuñez, L. E., Sánchez-Santamaria, B., Arias-Cerón, J. S., Santana-Esquivel, J. G., Diaz-Olivares, A., ... & Cornejo-Monroy, D. (2025). Electrochemical Corrosion Behavior of SiO2 Superhydrophobic Inhibitor in Al7075. Coatings, 15(9), 1064.

[31] A. Riquelme, P. Rodrigo, M.D. Escalera-Rodríguez, J. Rams, A. Riquelme, P. Rodrigo, M.D. Escalera-Rodríguez, J. Rams, Corrosion Resistance of Al/SiC Laser Cladding Coatings on AA6082, Coatings 2020, Vol. 10, 10 (2020).

[32] R.T. Loto, P. Babalola, Corrosion polarization behavior and microstructural analysis of AA1070 aluminium silicon carbide matrix composites in acid chloride concentrations, Cogent Eng 4 (2017).

[33] C. Liu, H. Zheng, X. Gu, B. Jiang, J. Liang, Effect of severe shot peening on corrosion behavior of AZ31 and AZ91 magnesium alloys, J Alloys Compd 770 (2019) 500–506.

[34] H. Kovacı, Y.B. Bozkurt, A.F. Yetim, M. Aslan, A. Çelik, The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel, Surf Coat Technol 360 (2019) 78–86.

[35] C.X. Shan, X. Hou, K.L. Choy, Corrosion resistance of TiO2 films grown on stainless steel by atomic layer deposition, Surf Coat Technol 202 (2008) 2399–2402.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GÖKNARDAN ÜRETİLMİŞ ÇAPRAZ LAMİNE AHŞAPLARDA ANİZOTROPİNİN VİDA ÇEKME ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Fatih KURUL

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa/Orman Endüstri Mühendisliği,

fatihkurul@iuc.edu.tr – ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4473-4159

ÖZET

Bu çalışmada, göknar (*Abies nordmanniana* subsp. *Bornmuelleriana*) lamellerinden üretilmiş üç katmanlı çapraz lamine ahşapta (CLT) anizotropinin vida çekme özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Örnekler ilk iki katmanına göre isimlendirilerek; teğet (TT-TR-TV), radyal (RR-RT-RV) ve verev (VV-VT-VR) diziliminde her gruptan 15 adet olmak üzere toplam 135 adet hazırlanmış ve deneyler üniversal test cihazı ile manuel vida çekme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Göknar lamellerden oluşan CLT örneklerinde ortalama yoğunluk değerleri 411 kg/m^3 ve ortalama rutubet miktarı ise %12,2 olarak hesaplanmıştır. TS EN 1382 (2016) standardına uygun olarak yürütülen testlerde, üniversal cihazda elde edilen ortalama vida çekme kapasitesi ve parametresi sırasıyla 1918 N ve 16,0 MPa, manuel olarak kullanılan vida çekme test cihazında ise sırasıyla 2170 N ve 18,1 MPa olarak hesaplanmıştır. İki cihaz arasındaki fark yaklaşık %13,2 oranında olup, kullanılan cihaz türünün ölçüm sonuçları üzerinde istatistiksel olarak etkisi olduğu saptanmıştır. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda her iki cihaz için de anizotropinin vida çekme kapasitesi ve parametresi üzerinde anlamlı bir fark yaratmadığını ($p > 0,05$) ortaya koymuştur. Ayrıca vida tutma özellikleri ile yoğunluk arasında pozitif, fakat zayıf korelasyonlar olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre vida tutma özelliklerinin belirlenmesinde üniversal test cihazının kullanılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: çapraz lamine kereste, vida çekme, göknar, anizotropi

1. GİRİŞ

Ahşap malzeme, günümüzde her geçen gün tüketiciler tarafından kullanımı artan, üreticiler için ise yeni kullanım alanları araştırılan bir malzeme olmuştur. Ahşap, biyolojik yapısı gereği anizotropik bir yapı malzemesidir ve farklı lif yönüne göre (teğet, radyal, boyuna) farklı fiziksel ve mekanik özellikler göstermektedir (Kollmann ve Cote, 1968). Ahşap malzemeler lif yönüne bağlı olarak geniş yüzey kesitine göre isimlendirilmektedir. Ahşap liflerinin geniş yüzeye 0-30° açı ile çıkması ile teğet, 70-90° açı ile çıkması ile radyal ve 30-70° açı ile çıkması ile verev olarak adlandırılmaktadır (TS EN 844, 2019).

Ahşap malzemenin anizotropiden kaynaklı dezavantajları ve boyut kısıtlaması farklı kullanım metotlarının araştırılmasına yol açmıştır. Günümüzde teknolojik gelişmelere paralel olarak mühendislik ürünü yapısal ahşap malzemeler (MYAM) büyük önem kazanmıştır. Bunun sebebi masif ahşaba göre birçok özellik bakımından iyileştirilmiş ve geliştirilmiş olmasıdır. Bu malzemeler büyük

açıklıkları geçebilmek için boyut konusunda çok geniş imkânlar sunmaktadır. Mühendislik ürünü olan bu yapısal ahşap malzemeler; budak vb. direnç azaltan kusurları tanımlanmış, istenen rutubet derecelerine kadar kurutulmuş ve tekrardan rutubetten etkilenmesi sınırlandırılmış, çalışma etkisi azaltılmış ve boyutsal stabilite sağlanmış, yüksek yük taşıma kapasitesine sahip, teknolojik özelliklerindeki varyasyonlar minimize edilmiş, istenen form ve boyut seçeneğine sahip, yüksek katma değer sağlamış yapısal malzemelerdir. Ahşap yapı sektörünün ülkemizdeki geleceği için bu ürünlerdeki gelişmeler yakından takip edilmesi gerekmektedir (Kurul, 2019).

Günümüzde mühendislik ürünü ahşap malzemeler arasında en çok tercih edilenler arasında yer alan Çapraz lamine ahşap (CLT) direnç sınıflandırması yapılmış lamellerin birbirine dik katmanlar şeklinde uygun tutkallar ile yapıştırılmasıyla oluşturulan bir mühendislik ürünüdür. CLT paneller hem duvar olarak düzlem içi yönlerde hem de döşeme olarak düzlem dışı kullanım için oldukça idealdir (Kurul, 2019). Genellikle, bir CLT paneli lifleri birbirine dik olarak preslenmiş ve yapısal yapıştırıcılar ile yapıştırılmış veya daha az yaygın olarak dübel veya çivilerle mekanik olarak bağlanmış tek sayıdaki tabakadan (3, 5, 7 veya daha fazla) oluşmaktadır. Uygulamaya bağlı olarak, dış tabaka oryantasyonu değişebilmektedir (Gagnon, S. ve Pirvu, C., 2011)

Türkiye'deki CLT üretim teknolojisine bakıldığında sertifikalı üretim yapabilen herhangi bir üretim tesisi mevcut değildir. Bu nedenle yapılan üretimlerin standart dışı olması kullanım sırasında ya da sonrasında çeşitli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak CLT temini konusunda ithalata bağımlılık devam etmekle birlikte, yapılarda kullanımı da yetersiz seviyede kalmaktadır (Kurul, 2019). Avrupa'da kullanılan CLT malzemeler özellikle orta ve yüksek bina inşaatlarında diğer yapısal malzemeler ile rekabet göstermektedir. İnşaat sırasındaki kullanım kolaylığı ve yüksek düzeyde prefabrikasyon, projelerin hızlı bir şekilde tamamlanmasını kolaylaştırmaktadır. Bu, özellikle 5-8 kat arası orta katlı inşaatlarda önemli bir avantaj yaratmaktadır. Alçak katlı konutlardaki kullanımına ek olarak, CLT çok katlı ahşap yapılarda özellikle depreme eğilimli alanlarda mükemmel bir potansiyele sahiptir. İyi bir ısı ve ses yalıtımının yanında yanma dayanımındaki iyi performansı, masif ahşap yapının bir sonucu olarak ortaya çıkan ek avantajlardır (Gagnon, S. ve Pirvu C., 2011)

Göknar asli ağaç türlerimizden olup ülkemizde hem ekonomik hem de ekolojik açıdan önemli bir yere sahiptir. Ayrıca yapısal olarak kullanımlarda yüksek potansiyele sahiptir (Kurul ve ark. 2024). Göknar özellikle mobilya, lambri, pervaz, kaplama levhası üretiminde ve inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kutu, kafes ambalajı, sandık, fıçı, oyuncak vb. yapımında tercih edilmektedir (OGM, 2013). Ancak, göknardan üretilen masif ve lamine yapısal malzemelerle alakalı sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Kurul ve ark. (2023) ve Kurul (2025) tarafından yapılan çalışmalarda göknarın yapısal kullanım potansiyelleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmanın amacı, TS EN 16351 (2021) standardına göre göknar lamellerinden üretilen 3 katmanlı CLT örneklerinde, iki farklı vida çekme yöntemi kullanılarak vida tutma kapasitelerin ortaya konması ve farklı kesit kombinasyonuyla üretilen CLT örneklerinde anizotropinin vida tutma kapasitesine bir etkisinin olup olmadığının araştırılmasıdır.

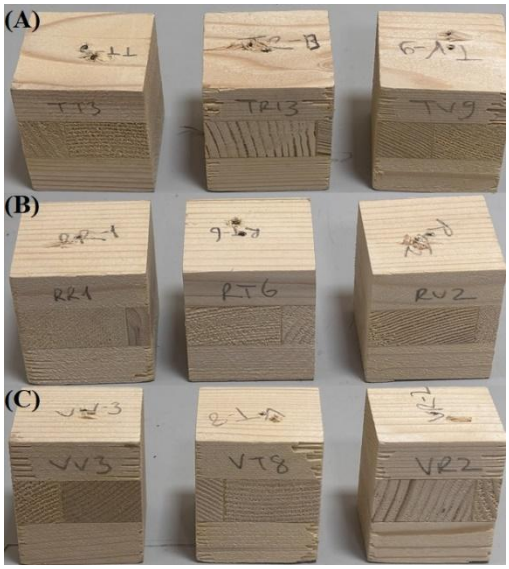
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Ağaç Türü ve CLT Üretimi

Bu çalışmada, asli türlerimizden olan ve Batı Karadeniz bölgesinden temin edilen göknar (*Abies nordmanniana* subs. *Bornmuelleriana*) ağaç türü kullanılmıştır. CLT üretimi için, %12 nem içeriğine sahip ve 50x100x2000 mm^3 (kalınlık x genişlik x uzunluk) boyutlarında göknar kerestelerinden 20x50x500 mm^3 (kalınlık x genişlik x uzunluk) tahtalar kesilmiştir. Sonrasında bu tahtalar görsel olarak değerlendirilerek, kusur içermeyen parçalar ayrılarak CLT üretimi için kullanılmıştır. Tahtalar 0/90/0° diziliminde üst üste yerleştirilerek 3 katmanlı CLT taslakları oluşturulmuştur. Tahtaların hem yüzeyleri hem de kenarları 200 g/m^2 oranında tek bileşenli poliüretan yapıştırıcı (PUR) ile yapıştırılmıştır. Taslaklar daha sonra hidrolik pres kullanılarak metre kareye 1 MPa basınç gelecek şekilde 180 dakika boyunca soğuk preste bekletilmiştir. 60x100x500 mm^3 boyutlarındaki üç katmanlı CLT levhalar (Görsel 1), %65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklıktaki klima odasında ağırlığı değişmeyinceye kadar bekletilerek klimatize edilmiştir.

Görsel 6. Üretilen 3 katmanlı CLT örneği

Sonrasında üretilen bu CLT levhalardan 60x50x50 mm^3 boyutlarında teğet (TT-TR-TV), radyal (RR-RT-RV) ve verine (VV-VT-VR) test örnekleri hazırlanmıştır (Görsel 2). Örnekler üst ve orta katmanın kesitlerine göre isimlendirilmiştir. Her bir grup için 15 adet örnek olmak üzere toplam 135 adet örnek hazırlanmıştır.



Görsel 2. Test örnekleri (A) TT-TR-TV, (B) RR-RT-RV, (C) VV-VT-VR

2.2. Vida Çekme Testleri

Vida çekme testleri için iki farklı yöntem kullanılmıştır. Her iki yöntemde de 135 adet örneğe 4 mm çapındaki vidalar 30 mm derinliğe girecek şekilde matkap yardımıyla vidalanmıştır. Böylelikle ilk katmanın tamamı ve ikinci katmanın yarısına kadar vidanın nüfus etmesi sağlanmıştır (Görsel 3). Her iki yöntemde de aynı yüzeyden vida delikleri örtüşmeyecek şekilde vidalama yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 3. Test örneklerine vidaların atılması.

İlk yöntemde, 5 kN kapasiteli üniversal test cihazı kullanılarak TS EN 1382 (2016) standardı prosedürleri uygulanmıştır. Test örnekleri test cihazına takılan aparat yardımıyla vida kafalarından doğrusal olarak çekilmiş ve test hızı maksimum kuvvete 60 ± 15 saniyede ulaşılacak şekilde bilgisayar kontrollü olarak ayarlanmıştır. Test düzeneği Görsel 4'de gösterilmiştir.

Görsel 4. Üniversal test cihazında vida çekme düzeneği.

İkinci yöntemde, 5 kN kapasiteli vida çekme test cihazı kullanılarak TS EN 1382 (2016) standardı referans alınmıştır. Test örnekleri cihaza bağlanarak kollar yardımıyla doğrusal olarak çekilmiş ve test hızı maksimum kuvvete 60 ± 15 saniyede ulaşılacak şekilde manuel olarak ayarlanmıştır. Test düzeneği Görsel 5'te gösterilmiştir.

Görsel 5. Vida çekme test cihazı düzeneği.

Her iki yöntemde de maksimum kuvvet değerleri cihazlardan okunarak not edilmiştir. Sonrasında TS EN 1382 (2016) standardında yer alan vida tutma kapasitesi (VTK) Denklem 1 ve vida tutma parametresi (VTP) Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır.

$$VTK = F_{max} \qquad (1)$$

$$VTP = \frac{F_{max}}{dxl_d} \qquad (2)$$

Formüllerde; VTK: Vida tutma kapasitesi (N), VTP: Vida tutma parametresi (MPa), F_{max}: Maksimum kuvvet (N), d: vida çapı (mm), l_d: vida penetrasyonu derinliği (mm).

Vida çekme testlerinden sonra örneklerin boyutları 0.01 mm hassasiyetli kompas yardımıyla ölçülerek üç boyutunun çarpılmasıyla hacmi hesaplanmıştır. Sonrasında hassas terazide tartılan örneklerin ağırlıkları 0.01 g hassasiyetle belirlenmiş ve ağırlığın hacme oranlanmasıyla yoğunlukları hesaplanmıştır (TS EN 408, 2014). Ardından örneklerin test esnasındaki rutubetlerinin belirlenmesi amacıyla TS EN 13183-1 (2002) standardına göre örnekler 103 ± 2 °C sıcaklıkta ağırlıkları değişmeyinceye kadar bekletilmiş ve tam kuru hale getirilmiştir (Görsel 6). Böylelikle test esnasındaki ağırlığın, tam kuru ağırlıktan çıkarılması ve yine tam kuru ağırlığa oranlanmasıyla örneklerin tam kuru ağırlık metoduna göre rutubetleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların istatistiki değerlendirmeleri için IBM SPSS 31.0 programı kullanılmıştır. Değerlendirmeler kapsamında kullanılan iki farklı cihazın karşılaştırılması için t-testi, anizotropinin etkisinin ortaya konulması için de sırasıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) testi ve Duncan testi uygulanmıştır. Ayrıca regresyon analizi yapılarak iki cihaz arasındaki ilişkiler ve vida tutma kapasitelerinin yoğunlukla olan ilişkileri ortaya konmuştur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Görsel 5. Test örneklerinin rutubetlerinin belirlenmesi.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Göknar CLT örnekleri üzerinde yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre rutubet miktarı, hava kurusu yoğunluk, üniversal test cihazından elde edilen vida tutma kapasitesi (VTK_1) ve vida tutma parametresi (VTP_1), vida çekme test cihazından elde edilen vida tutma kapasitesi (VTK_2) ve vida tutma parametresine (VTP_2) ait ortalama değerler her bir örnek grubu için Çizelge 1'de verilmiştir. Parantez içindeki değerler varyasyon katsayısını göstermektedir. Ortalama değerler üzerinde küçük harfler varyans analizi sonucunda oluşan grupları, küçük numaralar ise iki cihaz arasındaki t-testi sonucuna göre oluşan grupları göstermektedir.

Çizelge 14.Göknar CLT örnekleri için test sonuçları.

Kesitler	Teğet				Radyal				Verev				Genel Toplam
	TT	TR	TV	Toplam	RR	RT	RV	Toplam	VV	VT	VR	Toplam	
Örnek Sayısı	15	15	15	45	15	15	15	45	15	15	15	45	135
Rutubet (%)	12,3 (1,2)	12,3 (1,6)	12,1 (1,1)	12,2 (1,5)	12,2 (1,2)	12,3 (1,2)	12,1 (1,5)	12,2 (1,6)	12,3 (1,4)	12,4 (1,4)	12,1 (1,2)	12,3 (1,6)	12,2 (1,6)
Yoğunluk (kg/m^3)	427 (6,4)	416 (4,2)	422 (4,1)	422 (5,0)	397 (5,6)	398 (4,8)	397 (6,1)	397 (5,4)	419 (5,8)	419 (6,4)	403 (6,0)	414 (6,2)	411 (6,1)
VTK_1 (N)	1971[a] (11,8)	1936[a] (12,5)	1950[a] (12,0)	1952 (11,8)	1899[a] (9,9)	1833[a] (10,0)	1864[a] (11,9)	1865 (10,5)	1905[a] (16,6)	2021[a] (16,6)	1879[a] (15,3)	1935 (16,2)	1918[1] (13,2)
VTK_2 (N)	2242[a] (19,7)	2152[a] (13,5)	2268[a] (12,6)	2221 (15,4)	2124[a] (15,3)	2127[a] (14,2)	2237[a] (11,8)	2163 (13,7)	2130[a] (16,8)	2116[a] (17,0)	2133[a] (13,0)	2126 (15,3)	2170[2] (14,8)
VTP_1 (N/mm^2)	16,4[a] (11,7)	16,1[a] (12,6)	16,3[a] (12,0)	16,3 (11,8)	15,8[a] (9,9)	15,3[a] (10,0)	15,5[a] (12,0)	15,5 (10,5)	15,9[a] (16,6)	16,8[a] (16,7)	15,7[a] (15,3)	16,1 (16,2)	16,0[1] (13,2)
VTP_2 (N/mm^2)	18,7[a] (19,7)	17,9[a] (13,5)	18,9[a] (12,6)	18,5 (15,4)	17,7[a] (15,3)	17,7[a] (14,2)	18,6[a] (11,8)	18,0 (13,7)	17,8[a] (16,8)	17,6[a] (17,0)	17,9[a] (13,0)	17,7 (15,3)	18,1[2] (14,8)

Üretilen CLT örneklerinde ortalama rutubet %12,2 ve ortalama yoğunluk değeri 411 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Üniversal test cihazı ile yapılan vida çekme testleri sonucunda vida tutma kapasitesi ortalama 1918 N olarak belirlenmiştir. Vida tutma kapasitesi üzerine anizotropinin etkisini görmek amacıyla tek yönlü varyans analizi yapılmış ve anlamlılık değeri 0,05'den

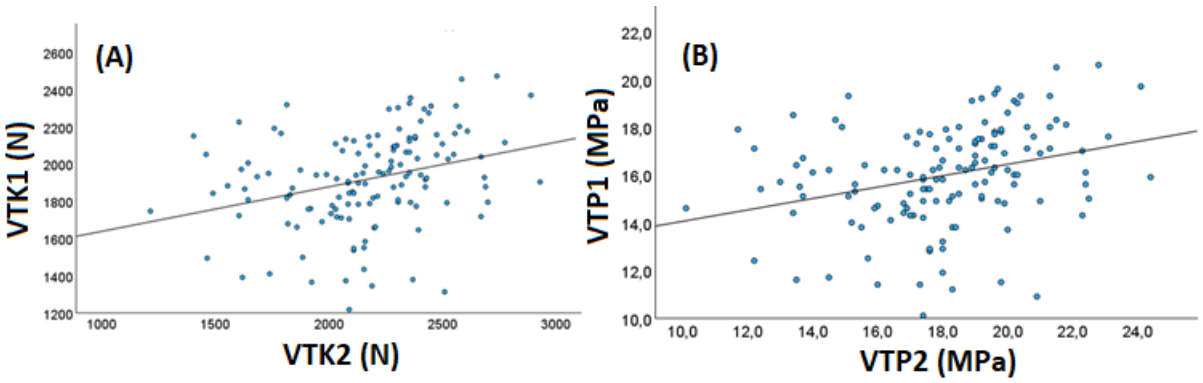
ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

büyük olduğu saptanmıştır. Bu nedenle gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir. Vida çekme test cihazıyla yapılan vida çekme testleri sonucunda ise vida tutma kapasitesi ortalama 2170 N olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

Vida tutma parametreleri incelendiğinde, üniversal test cihazı ile yapılan testlerde vida tutma parametresi ortalama 16,0 N/mm^2 olarak belirlenmiştir. Vida tutma parametresi üzerine anizotropinin etkisini görmek amacıyla tek yönlü varyans analizi yapılmış ve anlamlılık değeri 0,05'den büyük olduğu saptanmıştır. Bu nedenle gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı söylenebilir. Vida çekme test cihazında ise vida tutma parametresi ortalama 18,1 N/mm^2 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır.

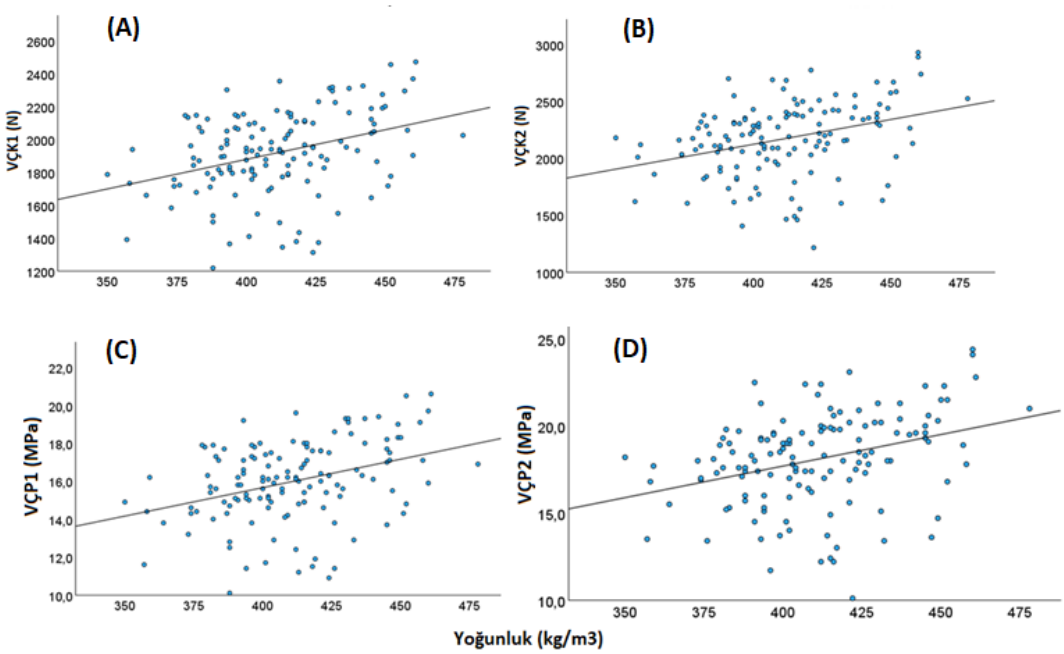
İki cihaz hem vida tutma kapasitesi hem de vida tutma parametresi bakımından t-testi yapılarak karşılaştırıldığında vida çekme cihazının üniversal test cihazından yaklaşık %13 daha yüksek değer verdiği ve cihazlar arasında istatistiksel olarak da anlamlı bir farklılık olduğu tespit edilmiştir. Vida çekme test cihazında uygulanan kuvvet manuel olarak ayarlandığı için üniversal test cihazına göre daha yüksek değerler ve varyasyon elde edildiği düşünülmektedir.

Cihazların birbiriyle olan ilişkilerini irdelemek için regresyon analizi yapılmıştır. Vida tutma kapasiteleri ve vida tutma parametreleri arasında zayıf, pozitif (R^2=0.09) ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (Görsel 6).



Görsel 6. İki cihaz arasındaki ilişkiler (A) vida tutma kapasitesi, (B) vida tutma parametresi.

Her iki cihaz için vida çekme kapasitesi ve parametresinin yoğunlukla olan ilişkilerini ortaya koymak için regresyon analizi yapılmıştır. $VÇK_1$ ve $VÇP_1$ ile yoğunluk arasında zayıf, pozitif (R^2=0,126) ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (Görsel 7a ve 7c). Yine benzer olarak $VÇK_2$ ve $VÇP_2$ ile yoğunluk arasında zayıf, pozitif (R^2=0,114) ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur (Görsel 7b ve 7d). İki yöntem için de yoğunlukla olan ilişkilerinin benzer olduğu söylenebilir.



Görsel 7. Her iki cihazda vida tutma kapasitesi ve parametresi ile yoğunluk arasındaki ilişkiler (A) VKÇ1-Yoğunluk, (B) VKÇ2-Yoğunluk, (C) VÇP1-Yoğunluk ve (D) VÇP2-Yoğunluk

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

1. Kullanılan her iki cihaz için hem vida tutma kapasitesi hem de vida tutma parametresinin anizotropiden etkilenmediği belirlenmiştir. CLT üretiminde kullanılan lamellerin farklı kesit yönüne sahip olması (teğet, radyal ve verevine) üretilen ana malzemede vida tutma kapasitesini istatistiksel olarak değiştirmediği söylenebilir.

2. Vida çekme testleri için kullanılan iki farklı cihazın istatistiksel olarak farklılaştığı ve vida çekme test cihazının üniversal test cihazına göre yaklaşık %13 daha yüksek ortalama değer verdiği belirlenmiştir. Vida çekme test cihazının manuel olarak kullanılması ve uygulanan kuvvetin homojen şekilde test süresi boyunca uygulanmasında zorluk çekilmesi nedeniyle üniversal test cihazının kullanılması önerilmektedir. Ayrıca kuvvetin istenilen sürede homojen şekilde uygulanmasındaki güçlük elde edilen ortalama değerin yüksek olmasında da etkili olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

TS EN 844 (2019). "Yuvarlak ve biçilmiş yapacak odun (kereste) -Terimler," Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 1382 (2016). "Ahşap Yapılar – Deney yöntemleri- Ahşap bağlayıcılarının geri çekilme kapasiteleri," Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 408:2010+A1 (2014). "Ahşap Yapılar – Yapı kerestesi ve yapıştırılmış lamine kereste-Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini," Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 13183-1 (2002). “Biçilmiş yapacak odun (kereste) parçasının rutubet muhtevası – Bölüm 1: Fırın kurusu yöntemiyle tayin,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 16351 (2021). “Ahşap yapılar – Çapraz tabakalanmış ahşap levha – Gerekler,” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Gagnon S. and Pirvu C. (2011). “CLT Handbook: Cross-Laminated Timber” Québec: FPInnovations.

Kollmann, F. F. P., and Côté, W. A. (1968). Principles of Wood Science and Technology: Solid Wood. Springer-Verlag.

Kurul F., (2019). “Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, İstanbul.

Kurul, F., Şişman, Ö. A., and Dündar, T. (2024). “Mechanical characterization of visually graded boards from turkish fir and black pine by nondestructive and destructive tests”. Maderas. Ciencia y tecnología, 26. DOI: 10.22320/s0718221x/2024.17

Kurul, F. (2025). "Göknar ve karaçam tahtalarının TS 1265 standardına göre görsel mukavemet sınıflandırması," Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi, 11(1), 162-167. DOI: 10.53516/ajfr.1675730

OGM (2013). “Orman Atlası”, Orman Genel Müdürlüğü, (o dönemki ismiyle) T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Kuraklık Stresi Altındaki Aster (*Aster amellus* L.) Bitkisine Giberellik Asit (GA_3) Uygulamasının Morfolojik Özellikleri ve Renk Parametreleri Üzerine Etkileri

Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

E-posta: omeroztas3065@mail.com (Orcid ID:0000-0001-9034-5675)

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: ozlemuzal@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0002-1538-820X)

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: fyasar@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0001-6598-8580)

ÖZET

Çalışmanın amacı, giberellik asit (GA_3) uygulamalarının kuraklık stresine karşı morfolojik özellikleri ve renk parametreleri üzerine etkileri belirlemeye çalışmaktır. Çalışmada farklı konsantrasyonlarda uygulanan GA_3 hormonu dozları ile birlikte %10 PEG (polietilen glikol) uygulamalar [GA_3-1(5 pmm), GA_3-2 (7.5 pmm), GA_3-3 (10 pmm), GA_3-1(5 pmm) +%10PEG, GA_3-2(7.5 pmm), +%10PEG, GA_3-3(10 pmm) +%10 PEG, %10 PEG] ve bir kontrol grubu (sadece Hoagland çözeltisi) ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Torf+perlit (3/1) ortamında çimlendirilen ve ilk gerçek yaprakların görüldüğü dönemde bitkiler su kültürüne alınmıştır. Bitkiler 4-5 yapraklı olunduktan sonra uygulamaya başlanılmıştır. İki hafta sonunda bitkiler hasat edilmiş, kök ağırlığı (g), kök uzunluğu (cm), gövde boyu (cm), gövde ağırlığı (g), gövde çapı (mm), boğum arası mesafe (mm), yaprak sayısı (adet), yaprak ağırlığı (g) ve yaprak renk değerleri belirlenmiştir. PEG ile oluşturulan kuraklık stresi, kök uzunluğu ve yaş ağırlığında belirgin azalmaya neden olmuştur. GA_3 uygulamaları bu parametrelerdeki düşüşü tek başına tamamen iyileştiremediği, ancak yüksek doz GA_3 (GA-3) kök gelişimini kısmen desteklemiştir. Buna karşılık, gövde büyümesi üzerinde GA_3 (özellikle PEG ile kombine edildiğinde) çok belirgin pozitif etki göstermiş; gövde boyu, ağırlığı ve boğum arası uzunluğu önemli ölçüde artmıştır. Yaprak renk analizinde, PEG+GA-1 uygulamasının olumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Aster amellus* L., Gibberellik Asit, polietilen glikol 6000

1. GİRİŞ

Süs bitkileri, uygun maliyetli tarımsal gelir kaynağı olmalarının yanı sıra dünyanın en eski tarımsal ürünleri arasında yer alır. Son yıllarda çiçek yetiştiriciliğinde gözle görülür bir artış yaşanmaktadır. Bu bitkilerden biri olan *Aster amellus* L, Asteraceae familyası ve Asterales takımı içindeki Aster cinsinin tipik türü olarak bilinir [1,2]. Yıldız anlamına gelen Eski Yunanca

"aster" kelimesinden türemiş olup, bitkinin yıldız şeklindeki çiçek başlarına atıfta bulunur. Başlıca bir Avrupa türü olan *Aster amellus* L., doğal olarak Fransa üzerinden Almanya kadar uzanan bir alanda yayılış gösterir [3]. Morfolojik açıdan çeşitlilik gösteren ve coğrafi dağılımı geniş olan Aster cinsi, 400'den fazla tür içerir ve Kuzey Amerika ile Avrasya'da çeşitli yayılım merkezlerine sahiptir.

Bitkiler, hareket edememeleri nedeniyle yaşam döngüleri boyunca bulundukları ortamdan kaynaklanan çoklu stres faktörlerine maruz kalır ve bu durum büyüme, gelişme ile verimde morfolojik, fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler düzeyde değişimlere yol açar [4]. Stres, bitkisel üretimde kalite, miktar ve verim düşüklüğüne neden olur [5]. Stres faktörleri biyotik (hastalık etmenleri, zararlılar) ve abiyotik (kuraklık, tuzluluk, aşırı sıcaklıklar, besin dengesizlikleri vb.) kökenli olabilir. Küresel tarımsal verim ve kalite kayıplarının %50'den fazlasından abiyotik stres sorumludur [6]. Bu faktörler arasında en yaygın ve etkili olan kuraklık, tarımsal verimi diğer tüm çevresel faktörlerden daha fazla sınırlar [7]. Dünya tarım alanlarının %45'i kuraklık ve su kıtlığı riski altındadır [8]. Artan nüfus, azalan tarım arazileri ve iklim değişikliği bu sorunu daha da kritik hale getirmekte, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Türkiye gibi ülkeleri önemli ölçüde etkilemektedir [9,10]. Kuraklık, çimlenme, sürme, büyüme ve kuru madde birikimini olumsuz etkiler; bitkiler ilk aşamada kök gelişimini artırsa da, stres uzadıkça toprak üstü ve kök gelişimi durur, yaprak alanı azalır ve erken yaprak dökümü gözlenir [11,12]. Bitki büyümesi ve stres tepkileri, hormon etkileşimleriyle düzenlenir. Kuraklık stresinde artan absisik asit (ABA) stomaları kapatarak su kaybını azaltır. Buna karşılık, gibberellik asit (GA3) ABA'nın tersine etki eder ve tohum çimlenmesi, gövde uzaması gibi süreçleri teşvik eder [13]. GA_3'ün abiyotik stres altında reaktif oksijen türleri (ROS) birikimini sınırlandırarak hücre ölümünü engellediği bildirilmiştir [14]. Bu hormonların sinyal iletimindeki değişimler, bitkinin stres toleransını ve büyümesini koordine eder [15]. Bu nedenle, bitki büyüme düzenleyicileri kullanarak abiyotik stresin etkilerini hafifletmek yaygın bir strateji haline gelmiştir.

Bu çalışmada, *Aster amellus* L. çeşidinde farklı dozlarda GA_3 uygulanarak, kuraklık stresi koşullarındaki bitki büyüme parametreleri ve yaprak renk değerleri incelenmiştir.

2. MATERYAL YÖNTEM

Çalışma, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü Fizyoloji Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bitki materyali olarak *Aster amellus* L. kullanılmıştır. Tohumlar 3:1 (v/v) oranında hazırlanan torf/perlit karışımı içeren 45 gözlü (9x5) viyollere ekilmiştir. Viyoller 23±2 ^{0}C sıcaklık, %65-70 oransal nem ve 600 µmol m^{-2} s^{-1} ışık yoğunluğunda 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık koşullarında iklim odasına yerleştirilmiş ve saf su ile sulama yapılmıştır. Kotiledon yaprakları yatay durumuna gelen ve ilk gerçek yaprakları görülmeye başlanan fideleri hidroponik kültürüne alınmıştır. Bitkilerin büyüme ve gelişmeleri için modifiye edilmiş Hoagland besin solüsyonu kullanılmıştır. Denemede besin solüsyon miktarı sürekli olarak kontrol edilmiş ve azalan besin solüsyonuna ilaveler yapılmıştır. Hidroponik kültür için 25x25x18 cm boyutlarındaki plastik küvetler kullanılmıştır. Fideler kökleri besin çözeltisinde olacak şekilde küçük sünger parçaları ile sarılarak tablalara yerleştirilmiştir. Havalandırma işlemi, akvaryum pompasına bağlı bulunan ince plastik hortumların besin çözeltisi içerisine daldırılması yoluyla yapılmıştır. Birer haftalık arayla besin çözeltileri yenilenmiş, bu sırada küvetlerin yerleri de değiştirilerek ışıklanma koşullarından tüm

bitkilerin eşit biçimde yararlanması sağlanmıştır. Bitkilere kuraklık stresi uygulamak amacıyla polietilen glikol 6000 (PEG 6000) kimyasal maddesi kullanılmıştır. Su kültüründe yetiştirilen bitkiler 3-4 yapraklı duruma geldiklerinde Hoagland besin çözeltisine kontrol uygulaması hariç %10 polietilen glikol (PEG-6000) ve giberrellik asit (GA_3) eklenmiştir. Deneme tesadüf parselleri desenine göre, üç tekerrür olacak şekilde kurulmuştur. Grupların tamamı değerlendirildiğinde, çalışma toplamda 48 bitki ve 8 uygulama üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bitkilere GA_3-1(5ppm), GA_3-2(7.5ppm), GA_3-3(10ppm), %10PEG+GA_3-1(5ppm), %10PEG+GA_3-2(7.5ppm), %10PEG+GA_3-3(10ppm) ve %10PEG dozlarında uygulamalar yapılmıştır. Sadece Hoagland besin çözeltisinde büyütülen bitkiler kontrol grubunu oluşturmuştur. İki hafta sonra, fidelerde çeşitli büyüme parametreleri ölçülmüştür. Gövde uzunluğu (cm) kök boğazından büyüme noktasına kadar olan kısımda cetvelle ölçülürken, gövde çapı (mm) yine kök boğazından dijital kumpas kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir bitkinin yaprak sayısı (adet) kayıt altına alınmış ve boğum arası mesafe (cm), dijital kumpas yardımıyla 2. ve 3. boğumlar arasında ölçülmüştür. Hasat edilen bitkilerde kök uzunluğu (cm) cetvelle belirlenmiş; yeşil aksam ve köklerin yaş ağırlıkları (g) hassas terazide tartılmıştır. Bitkilerinde örnek almadan önce her bir uygulamada 3 tekerrür olmak üzere yapraklarının üst yüzeyindeki farklı noktalardan, yaprak renginde meydana gelen değişimler Minolta CR-400 (Mınolta Camera Co. LTD Ramsey, NJ) marka renk ölçer kromametre ile tespit edilmiştir. Elde edilen tüm veriler, Statgraphics istatistik analiz yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Verilere varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve ortalamalar arası farklılıklar %5 anlamlılık düzeyinde Duncan testi ile istatistiksel olarak gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmada kök ve gövde parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 1' de, gövde çapı, boğum arası ve yaprak parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 2'de, yaprak renk değerleri Çizelge 3'te belirtilmiştir.

Çizelge 1. Uygulamaların kök ve gövde parametreleri üzerine etkileri.

UYGULAMALAR	Kök Uzunluğu (cm)	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Boyu (cm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)
KONTROL	21.600±3.44 A	3.024±0.50 A	4.000±0.71 C	0.316±0.09 C
PEG	18.600±3.29 AB	2.302±0.32 AB	4.140±1.11 C	0.318±0.08 C
GA-1	18.800±1.48 AB	2.436±0.71 AB	3.600±0.89 C	0.292±0.13 C
GA-2	17.200±2.17 B	2.154±0.78 B	5.000±1.41 BC	0.350±0.11 BC
GA-3	21.200±2.59 A	2.432±0.76 AB	6.000±1.73 A-C	0.708±0.27 A
PEG+GA-1	16.400±4.16 B	2.348±0.52 AB	6.800±1.79 AB	0.726±0.17 A
PEG+GA-2	16.400±2.41 B	2.326±0.86 AB	7.400±1.14 AB	0.568±0.13 AB
PEG+GA-3	20.000±1.87 AB	2.346±0.34 AB	8.100±3.68 A	0.644±0.28 A
ORTALAMA	18.775±3.19	2.421±0.62	5.630±2.28	0.490±0.24
P DEĞERİ	0.028	0.555	0.001	0.000

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

En uzun kök kontrol grubunda (21.6 cm) ölçülmüştür. PEG, GA-1 ve GA-3 uygulamaları kontrol grubu ile istatistiksel olarak farklılık göstermezken, GA-2, PEG+GA-1, PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları kök uzunluğunu kontrol grubuna göre azaltmıştır. Uygulamalar arasında kök yaş ağırlığı bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Kök uzunluğu bakımından kontrole en yakın değer PEG+GA-3 (20.0cm) uygulanan bitkilerde belirlenmiştir. Gövde boyu üzerine GA_3 uygulamaların etkisi oldukça belirgindir. Kontrol grubuna kıyasla, GA-3, PEG+GA-1, PEG+GA-2 ve özellikle PEG+GA-3 uygulamaları gövde boyunda önemli artış sağlamıştır. Gövde yaş ağırlığında uygulamalar arasında yüksek düzeyde anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir. Kontrol grubunun aksine, GA-3, PEG+GA-1, PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları gövde ağırlığını istatistiksel olarak anlamlı şekilde artırmıştır. En yüksek ortalama değerler PEG+GA-1 ve GA-3 gruplarında gözlenmiştir. PEG+GA-3 uygulaması ise bu grupla aynı istatistiki grupta yer almıştır.

Çizelge 2. Uygulamaların gövde çapı, boğum arası mesafe ve yaprak parametreleri üzerine etkileri.

UYGULAMALAR	Gövde Çapı (mm)	Boğum Arası (mm)	Yaprak Yaş Ağırlığı (g)	Yaprak Sayısı (Adet)
KONTROL	2.812±0.28 A	3.412±0.47 CD	5.100±0.74 A	17.200±0.84 A
PEG	2.454±0.22 AB	3.738±0.49 B-D	4.068±0.59 A-C	15.600±2.30 AB
GA-1	2.314±0.27 AB	3.274±0.53 D	3.852±0.96 BC	14.600±3.65 AB
GA-2	1.958±0.23 B	3.892±0.56 B-D	3.892±1.09 BC	16.400±3.21 A
GA-3	2.062±0.30 B	4.040±0.39 AB	3.126±0.95 C	13.200±3.70 B
PEG+GA-1	2.226±0.19 B	4.180±0.54 AB	5.058±1.07 A	15.800±1.64 AB
PEG+GA-2	2.326±0.76 AB	3.900±0.53 BC	4.894±0.90 AB	16.800±1.30 A
PEG+GA-3	2.236±0.27 B	4.528±0.29 A	4.366±0.59 AB	15.600±1.14 AB
ORTALAMA	2.299±0.41	3.871±0.58	4.295±1.03	15.650±2.55
P DEĞERİ	0.031	0.007	0.013	0.268

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Gövde çapı değerleri uygulamalar arasında istatistiksel olarak önemli farklılık göstermiştir. Kontrol grubu en yüksek ortalama değeri kaydederken, GA-2, GA-3, PEG+GA-1 ve PEG+GA-3 uygulamaları Kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha düşük değerler sergilemiştir. Boğum arası uzunluğu parametresinde uygulamalar arasındaki farklılık oldukça önemli bulunmuştur. PEG+GA-3 uygulaması en yüksek ortalama değeri kaydetmiş ve bu değer, Kontrol ve GA-1 gruplarından istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Yaprak yaş ağırlığı üzerinde uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemlidir. En yüksek değerler Kontrol ve PEG+GA-1 gruplarında gözlemlenmiş, buna karşılık GA-3 uygulaması bu gruplardan anlamlı derecede daha düşük bir değer kaydetmiştir. İncelenen parametreler arasında yaprak sayısında uygulamalar arası farklılıklar istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur.

Çizelge 3. Uygulamaların yaprak renk parametreleri üzerine etkileri.

UYGULAMALAR	L	a*	b*	Chroma	Hue
KONTROL	36.893±2.11 BC	-12.000±0.82 AB	18.957±0.55 CD	22.457±0.71 CD	122.367±1.82 BC
PEG	36.493±1.49 BC	-10.430±1.79 A	16.227±2.40 DE	19.283±2.98 DE	122.653±1.21 BC
GA-1	36.293±0.42 C	-10.530±0.69 A	15.277±0.62 E	18.570±0.67 F	124.807±1.99 AB
GA-2	37.860±0.29 BC	-11.473±0.14 A	17.123±0.78 C-E	20.627±0.57 DE	123.943±1.63 AB
GA-3	37.043±1.36 BC	-14.107±0.42 CD	19.943±0.91 BC	24.433±0.98 BC	125.237±0.67 A
PEG+GA-1	41.443±1.06 A	-15.403±1.18 D	27.077±2.27 A	31.160±2.54 A	119.583±0.62 D
PEG+GA-2	37.790±1.07 BC	-14.140±0.96 CD	22.417±2.48 B	26.520±2.61 B	122.703±1.35 BC
PEG+GA-3	38.673±0.41 B	-13.433±0.65 BC	22.470±1.00 B	26.183±1.18 B	120.900±0.29 CD
ORTALAMA	37.811±1.87	-12.690±1.93	19.936±3.98	23.654±4.34	122.774±2.13
P DEĞERİ	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Işık Renk Parlaklığı (L*) değerleri incelendiğinde, uygulamalar arasında belirgin bir farklılık gözlemlenmiştir. PEG+GA-1 uygulaması, en yüksek L* değerini kaydederek diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak ayrışmıştır. PEG+GA-3 uygulaması da Kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bir parlaklık sergilemiştir. Diğer uygulamalar ise birbirleriyle ve Kontrol grubuyla benzer L* değerleri göstermiştir. Kırmızı-Yeşil Renk Bileşeni (a*) değerleri üzerinde uygulamaların etkisi çok belirgindir. En düşük (en yeşil) a* değeri PEG+GA-1 uygulamasında ölçülmüştür. GA-3, PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları da benzer şekilde Kontrol grubundan önemli ölçüde daha düşük (daha yeşil) değerlere sahip olmuştur. Buna karşılık, PEG ve GA-1 uygulamaları en yüksek (en az yeşil) a* değerlerini kaydetmiştir. Sarı-Mavi Renk Bileşeni (b*) ve Renk Doygunluğu (Chroma) değerlerinde **b**enzer bir eğilim görülmüştür. Her iki parametrede de en yüksek değerler PEG+GA-1 uygulamasında tespit edilmiş ve bu uygulama diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak farklılaşmıştır. PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları da Kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksek b* ve Chroma değerleri sergilemiştir. GA-1 uygulaması ise en düşük b* ve Chroma değerlerine sahip olmuştur. Renk Ton Açısı (Hue) değerleri açısından, GA-3 uygulamasının en yüksek değeri kaydettiği gözlemlenirken, PEG+GA-1 uygulaması en düşük Hue değerine sahip olmuştur. Kontrol, PEG, PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 gruplarının Hue değerleri ise birbirine yakın ve orta düzeyde seyretmiştir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırmada, *Aster amellus* L. türüne üç farklı dozda uygulanan GA_3 (giberellik asit) bitki büyüme düzenleyicisinin etkileri incelenmiş olup, dozlar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar tespit edilmiştir.

Çalışmada, %10 PEG uygulaması ile oluşturulan kuraklık stresi altında, *Aster amellus* bitkilerinin kök uzunluğu ve kök yaş ağırlığında kontrol grubuna kıyasla belirgin azalmalar gözlemlenmiştir. Kök uzunluğu, kontrol grubunda en yüksek değere ulaşırken, PEG uygulaması ve özellikle PEG+GA-1 dozu istatistiksel olarak anlamlı düşüşler kaydedilmiştir. Benzer şekilde, kök yaş ağırlığı da kontrol grubunda en yüksek, GA-2 grubunda ise en düşük değeri göstermiştir. Kuraklık stresinin kök sisteminin büyümesini ve gelişimini kısıtladığını ortaya koymaktadır. Literatürdeki çalışmalar da bu sonuçları destekler niteliktedir. Türkan vd. [16]., PEG ile kuraklık stresi uygulanan bitkilerde kök uzunluğunda ve yaş ağırlığında azalma olduğunu bildirmiştir. Yaşar vd. [17,18,19]. ise fasulye, kabak, karpuz ve domateste yaptıkları araştırmalarda, kuraklığın bitki büyüme parametrelerini önemli ölçüde baskıladığını belirtmişlerdir. Bu baskılanmanın arkasındaki temel mekanizma, kuraklık stresi altında bitki su potansiyelinin azalması, besin elementlerinin alımının kısıtlanması ve bunun sonucunda fotosentez ile ilişkili metabolik süreçlerin aksaması olarak açıklanmaktadır [20]. GA_3 uygulamalarının (GA-1, GA-2, GA-3) tek başına kök uzunluğu ve ağırlığı üzerindeki iyileştirici etkisi sınırlı kalmış, bu parametrelerde kontrol seviyelerine tam bir dönüş sağlanamamıştır. Ancak, özellikle yüksek doz GA-3 uygulamasının kök uzunluğunu kontrol grubuna yaklaştırdığı görülmüştür. Bu durum, GA_3'ün kök gelişimini doza bağlı olarak kısmen destekleyebileceğini, ancak şiddetli kuraklık stresinin kök büyümesi üzerindeki güçlü inhibitör etkisini tek başına tamamen ortadan kaldırmada yetersiz kalabileceğini düşündürmektedir. Kuraklık stresinin gövde gelişimi üzerindeki etkisi, köke kıyasla farklılık göstermiş ve GA_3 uygulamaları bu parametrelerde çok daha belirgin pozitif yanıtlar oluşturmuştur. PEG uygulaması, gövde boyunu kontrol grubuna göre çok az artırırken veya değiştirmezken, gövde yaş ağırlığını neredeyse aynı seviyede tutmuştur. Ancak, GA_3 uygulamaları, özellikle de PEG ile kombinasyonları hem gövde boyunda hem de gövde yaş ağırlığında çarpıcı artışlara neden olmuştur. Gövde boyu, PEG+GA-3 uygulamasında kontrolün yaklaşık iki katına çıkarken; gövde yaş ağırlığı ise PEG+GA-1 ve GA-3 uygulamalarında kontrolden istatistiksel olarak anlamlı şekilde daha yüksek değerler göstermiştir. Gövde gelişimindeki bu belirgin artışlar, GA_3'ün bilinen fizyolojik rolüyle tamamen uyumludur. Giberellinler (GA'lar), bitkilerde gövde uzaması, hücre bölünmesi ve genişlemesi gibi süreçleri doğrudan teşvik eden ana fitohormonlardan biridir [21]. Rady, vd., [22], GA_3'ün eksojen uygulamasının stoma iletkenliğini, net fotosentez hızını ve su kullanım etkinliğini iyileştirerek kuraklık stresinin olumsuz etkilerini azalttığını bildirmiştir. Bu mekanizmalar, GA_3 uygulanan bitkilerin stres altında daha iyi karbon asimilasyonu yapmasını ve bu enerjiyi gövde büyümesine yönlendirebilmesini sağlayabilir. Ayrıca, Akter vd., [23] ve Rady vd.,[22], gibi çalışmalarda da GA_3 uygulamalarının, kuraklık ve diğer abiyotik stres koşullarında gövde büyümesini ve biyokütle birikimini olumlu yönde etkilediği rapor edilmiştir.

Gövde çapı değerlerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Kontrol grubu en yüksek ortalama gövde çapına sahipken, tek başına GA_3 uygulamaları (GA-2; GA-3) ve PEG+GA_3 uygulamaları (PEG+GA-1; PEG+GA-3) kontrole kıyasla anlamlı derecede daha düşük değerlere neden olmuştur. Bu durum, kuraklık stresinin hücre bölünmesi ve genişlemesini kısıtlayarak gövde kalınlaşmasını azalttığını düşündürmektedir. Literatürde, kuraklık stresinin bitki büyüme parametrelerini baskıladığı yönündeki bulgular (Türkan vd., 2005; Yaşar vd., [16,17,18] bu sonucu destekler niteliktedir. GA_3'ün gövde çapındaki bu

azalmayı tam olarak telafi edememesi, hormonun etki mekanizmasının öncelikli olarak hücre uzaması yönünde olduğunu gösterebilir. Boğum arası uzunluğu parametresi üzerinde uygulamaların etkisi oldukça belirgindir. En yüksek değer PEG+GA-3 uygulamasında kaydedilmiş ve bu değer kontrol ve GA-1 gruplarından istatistiksel olarak daha yüksek bulunmuştur. Bu bulgu, GA_3'ün bilinen gövde uzatıcı etkisi ile doğrudan örtüşmektedir. Rady vd., [22] GA_3'ün eksojen uygulamasının bitki büyümesini ve gelişimini düzenlediğini, abiyotik stresin olumsuz etkilerini hafiflettiğini belirtmiştir. Özellikle PEG (kuraklık stresi) varlığında GA_3 uygulamasının boğum arasını uzatması, bu hormonun stres koşullarında bile büyüme süreçlerini teşvik edebildiğinin bir göstergesidir. Yaprak yaş ağırlığı üzerinde uygulamaların etkisi istatistiksel olarak önemlidir. En yüksek değerler kontrol ve PEG+GA-1 gruplarında gözlenirken, en düşük değer uygulamasında kaydedilmiştir. PEG uygulaması tek başına yaprak ağırlığını düşürürken, PEG+GA-1 yaprak biyokütlesini koruduğu görülmüştür. Bu durum, kuraklık stresinin fotosentez ve metabolik süreçleri bozarak yaprak gelişimini inhibe ettiğini Hu ve Schmidhalter [20], ancak uygun dozdaki GA_3 uygulamasının bu olumsuzluğu kısmen önleyebildiğini göstermektedir. Singh vd., [24] ve Hasanuzzaman vd., [25] GA_3'ün abiyotik stres altında yaprakların klorofil içeriğini ve mineral besin alımını artırarak büyümeyi iyileştirdiğini bildirmişlerdir. PEG+GA-1 grubundaki yüksek yaprak ağırlığı, GA_3'ün kuraklık koşullarında yaprak gelişimini ve fotosentetik kapasiteyi destekleyici rolüne işaret etmektedir. Yaprak sayısı incelendiğinde ise, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ancak sayısal değerlere bakıldığında, kontrol grubunda en yüksek ortalama gözlenirken, GA-3 uygulamasında en düşük değer kaydedilmiştir. Bu sonuç, yaprak sayısının kuraklık stresinden ve GA3 uygulamalarından, diğer parametrelere kıyasla daha az etkilendiğini veya varyasyonun yüksek olduğunu düşündürmektedir. Genel olarak, kuraklık stresinin yaprak sayısını azalttığı bilinmekle birlikte Türkan vd., [16] bu çalışmada istatistiksel anlamlılık düzeyine ulaşmamış olması, bitkinin bu parametrede strese karşı nispeten daha toleranslı olabileceği veya incelenen sürenin yeni yaprak oluşumu için yeterli olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Işık Parlaklığı (L*) değerleri incelendiğinde, uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gözlemlenmiştir. En yüksek L* değeri PEG+GA-1 uygulamasında kaydedilmiş ve bu uygulama diğer tüm gruplardan belirgin şekilde ayrışmıştır. PEG+GA-3 uygulaması da kontrole kıyasla anlamlı derecede daha yüksek bir parlaklık sergilemiştir. Sağlıklı bitki yaprakları, yüksek klorofil içeriği ve canlı yapıları nedeniyle genellikle yüksek L* değerlerine sahiptir. Hamil ve Camlin [26], Seracu ve Bajulescu [27], sağlıklı bitkilerin yüksek L* değeri sergilediğini ve bunun canlı bir yeşil rengi ve iyi fotosentez kapasitesini yansıttığını belirtmişlerdir. Bu bağlamda, PEG+GA-1 uygulamasının en yüksek L* değerini göstermesi, bu uygulamanın kuraklık stresine rağmen yaprakların parlaklığını ve dolayısıyla muhtemelen fotosentetik sağlığını korumada veya iyileştirmede etkili olduğunu düşündürmektedir. Kırmızı-Yeşil Renk Bileşeni (a*) üzerinde uygulamaların etkisi oldukça belirgindir. a* değeri, renk skalasında yeşilden (-) kırmızıya (+) doğru geçişi ifade eder. En düşük (en negatif, yani en yeşil) a* değeri PEG+GA-1 uygulamasında ölçülmüştür. GA-3, PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları da kontrolden önemli ölçüde daha düşük (daha yeşil) a* değerlerine sahip olmuştur. Buna karşılık, PEG ve GA-1 uygulamaları en yüksek (en az yeşil) a* değerlerini kaydetmiştir. Literatürde, sağlıklı bitkilerin genellikle negatif a* değerine (yeşil tonlar) sahip

olduğu, pozitif değerlere doğru kaymanın ise stres veya hastalık belirtisi olabileceği vurgulanmaktadır [26,28]. Bu durumda, özellikle PEG+GA-1 gibi kombinasyon uygulamalarının, bitkileri kuraklık stresinin neden olabileceği renk solmasından (yeşillik kaybı) koruyarak daha yoğun bir yeşil renk muhafaza etmelerini sağladığı söylenebilir. Sarı-Mavi Renk Bileşeni (b*) ve Renk Doygunluğu (Chroma) değerlerinde benzer bir eğilim gözlenmiştir. Her iki parametrede de en yüksek değerler PEG+GA-1 uygulamasında tespit edilmiş ve bu uygulama diğer tüm gruplardan istatistiksel olarak farklılaşmıştır. PEG+GA-2 ve PEG+GA-3 uygulamaları da kontrole kıyasla anlamlı derecede daha yüksek b* ve Chroma değerleri sergilemiştir. b* değeri, maviden (-) sarıya (+) doğru geçişi temsil eder. Sağlıklı yapraklar genellikle pozitif b* değeri ile sarımsı-yeşil bir ton gösterir [26]. Ancak, aşırı yüksek b* değerleri sarılık ve potansiyel besin eksikliği veya stres belirtisi olarak da yorumlanabilir [27]. Bu çalışmada yüksek b* değerleri, yüksek L* ve düşük a* (yoğun yeşil) ile birlikte görüldüğü için, genel bir renk canlılığının ve doygunluğunun göstergesi olarak değerlendirilebilir. Chroma, rengin saflığını veya canlılığını ölçer. Yüksek Chroma değerleri, canlı ve doygun renkleri ifade eder ve sağlıklı bitki yapraklarının bir özelliğidir [26,29]. PEG+GA-1 uygulamasındaki yüksek Chroma değeri, bu gruptaki bitkilerin renklerinin son derece canlı ve doygun olduğunu ortaya koymaktadır. Renk Ton Açısı (Hue) değerleri açısından, GA-3 uygulaması en yüksek değeri kaydederken, PEG+GA-1 uygulaması en düşük değere sahip olmuştur. Hue, renk tonunu ifade eden bir açı değeridir. Genellikle 120-140 derece aralığı sağlıklı bir yeşil rengi temsil eder [26]. Majer ve vd., [30], yüksek hue değerinin yaprakların parlak yeşil rengini ve yüksek fotosentez kapasitesini yansıttığını belirtmiştir. Bu çalışmada tüm uygulamaların hue değerleri 119-125 derece aralığında yer almakta olup, bu da hepsinin yeşil spektrum içinde kaldığını göstermektedir. GA-3'ün nispeten yüksek hue değeri, klasik anlamda daha "yeşil" bir tonu işaret ederken, PEG+GA-1'in daha düşük hue değeri, renk tonunda hafif bir kaymayı gösterebilir. Ancak, bu durumun diğer parametrelerdeki (yüksek L, düşük a, yüksek Chroma) olumlu performansla birlikte değerlendirilmesi gerekir.

5. SONUÇ

Bu çalışmanın sonuçları, *Aster amellus* bitkilerinde %10 PEG ile kuraklık stresinin, özellikle kök sistemi üzerinde belirgin bir inhibisyon etkisi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Kök uzunluğu ve yaş ağırlığındaki önemli azalmalar, bitkinin su ve besin alım kapasitesini sınırlayan temel bir stres tepkisini yansıtmaktadır. Buna karşılık, eksojen GA_3 uygulamalarının etkisi bitki organlarına bağlı olarak farklılaşmıştır. Kök gelişiminde sınırlı bir iyileşme sağlayan GA_3, özellikle gövde boyu, boğum arası uzunluğu ve yaş ağırlığı gibi parametrelerde çarpıcı artışlar meydana getirerek, kuraklık koşullarında dahi sürgün sisteminin büyümesini güçlü bir şekilde teşvik etmiştir. Ayrıca, renk analizi sonuçları (özellikle PEG+GA-1 uygulamasında gözlenen yüksek parlaklık (L), renk canlılığı (Chroma) ve yoğun yeşil renk (negatif a)), GA_3'ün fotosentetik dokuların sağlığını ve canlılığını korumadaki olumlu rolüne işaret etmektedir. Sonuç olarak, GA_3 uygulamalarının kuraklık stresi altındaki *Aster amellus* bitkilerinde, kök gelişimindeki kısıtlamaları tamamen gideremese de, üst yapısal gelişimi, biyokütle birikimini ve yaprak sağlığını önemli ölçüde destekleyerek bitkinin genel performansını iyileştirebileceği anlaşılmaktadır. Bu bulgular, GA_3'ün kuraklığa maruz kalan bitkilerde büyüme düzenleyici bir strateji olarak kontrollü kullanımının potansiyel faydalarına ışık tutmaktadır.

KAYNAKLAR

1) Jones, A. G., A classification of the New World species of Aster (Asteraceae). *Brittonia*, *32*(2), 230-239, 1980.
2) Pennisi, E., Taxonomy – Linnaeus's last stand? Science 291 (5512), 2304–2307, 2001.
3) Münzbergová, Z., Raabová, J., Castro, S., & Pánková, H., Biological flora of central Europe: Aster amellus L. (Asteraceae). Perspectives in plant ecology, evolution and systematics, 13(2), 151-162, 2011.
4) Kalefetoğlu, T., Ekmekci, Y., The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. Gazi University Journal of Science, 18(4), 723-740, 2005.
5) Yaşar, F., Tuz Stresi Altındaki Patlıcan Genotiplerinde Bazı Antioksidant Enzim Aktivitelerinin ın vıtro ve ın vıvo Olarak incelenmesi, Doktora tezi. (doktora tezi, basılmamıs). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.,2003.
6) Wang, W., Vinocur, B., Altman, A., Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218, 1-14, 2003.
7) Shao, H. B., Chu, L. Y., Jaleel, C. A., Manivannan, P., Panneerselvam, R., Sao, M. A., Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants–biotechnologically and sustainably improving agriculture and the ecoenvironment in arid regions of the globe. Critical reviews in biotechnology, 29(2), 131-151, 2009.
8) Ashraf, M. F. M. R., Foolad, M. R., Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and experimental botany, 59(2), 206-216, 2007.
9) Çakmak, B., Gökalp, Z., İklim değişikliği ve etkin su kullanımı. Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi, (1), 87-95, 2011.
10) Kuşvuran, S., Kıran, S. U., Altuntaş, Ö., The morphological, physiological and biochemical effects of drought in different pepper genotypes. Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(6), 1359-1368, 2020.
11) Özpay. T., Taze Fasulye (Phaseolus vulgaris L.) Genotiplerinin Kuraklık Stresine Olan Tepkilerinin Belirlenmesi, Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye., 2008.
12) Köse, Ş,. Türkiye"de Yetiştirilen Bazı Kabak Türlerinde (Cucurbita sp.) Kuraklık Stresine Tolerans Bakımından Genotipik Varyasyonun Belirlenmesi, Yükseklisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye, 2010.
13) Özen H. Ç., Onay, A. Bitki Büyüme ve Gelişme Fizyolojisi. Dicle Üniversitesi Basımevi. Diyarbakır, Türkiye., 1999.
14) Alscher, R. G., Erturk, N., Heath, L. S. Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. Journal of experimental botany, 53(372), 1331-1341, 2002.
15) Alacı Baytin R., Kaymaz Ö., Üzal Ö., Yaşar F., Drought stress ın plants and ıts relatıonshıp wıth plant hormones. A. Çığ, (Ed.), Agrıcultural Studıes On Dıfferent Subjects (pp 257-291). İksad Yayınevi: Ankara, Türkiye, 2021.
16) Türkan, I., Bor, M., Özdemir, F., Koca, H. Differential responses of lipid peroxidation and antioxidants in the leaves of drought-tolerant P. Acutifolius Gray and drought-

sensitive P. vulgaris L. subjected to polyethylene glycol mediated water stress. Plant science, 168(1), 223-231. (2005).

17) Yasar, F., Uzal, O., Yasar, T. O., Ozlem, Y., Investigation of the relationship between the tolerance to drought stress levels and antioxidant enzyme activities in green bean (Phaseolus Vulgaris L.) genotypes. African Journal of Agricultural Research, 8, 5759-5763, 2013.
18) Yasar, F., Uzal, O., Yasar, O., Ellialtioglu, S. S., Root, stem, and leaf ion accumulation in drought stressed green bean (Phaseolus vulgaris L.) genotypes treated with Peg-6000. Fresenius Environmental Bulletin, 23(10), 2656-2662, 2014.
19) Yaşar, F., Uzal Ö., Erez, M. E., Tuga H., Alacı, R. B., Kaymaz, Ö., Yaşar, Ö., Kuraklık stresi uygulanmış ve uygulanmamış domates bitkilerine farklı dozlarda mangan uygulamalarının bitki gelişimi üzerine etkisi. ISPEC Journal of Agricultural Sciences, 7(1), 105-115, 2023.
20) Hu, Y., Schmidhalter, U., Drought and salinity: a comparison of their effects on mineral nutrition of plants. Journal of plant nutrition and soil science, 168(4), 541-549, 2005.
21) Hedden, P., Sponsel, V., A century of gibberellin research. Journal of plant growth regulation, 34, 740-760, 2015.
22) Rady, M. M., Boriek, S. H., Abd El-Mageed, T. A., Seif El-Yazal, M. A., Ali, E. F., Hassan, F. A., Abdelkhalik, A. Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in Vicia faba by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. Plants, 10(4), 748, 2021.
23) Akter, N., Rafiqul Islam, M., Abdul Karim, M., Hossain, T., Alleviation of drought stress in maize by exogenous application of gibberellic acid and cytokinin. Journal of Crop Science and Biotechnology, 17, 41-48, 2014.
24) Singh, M., Kumar, J., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 14, 407-426, 2015.
25) Hasanuzzaman, M., Fujita, M., Oku, H., Nahar, K., Hawrylak-Nowak, B., Plant nutrients and abiotic stress tolerance. Springer Singapore, Singapore., 2018.
26) Hamill, M., Camlin, M.S., The measurement of leaf colour in grasses. The Journal of Agricultural Science. 103(2), 387-393, 1984.
27) Seracu, D., Baiulescu, G. E., Color measurement in leaf diagnosis. Analytical Letters, 26(11), 2349-2359, 1993.
28) Agarwal, A., Gupta, S., Assessment of spinach seedling health status and chlorophyll content by multivariate data analysis and multiple linear regression of leaf image features. *Comput. Electron. Agric.*, 152, 281-289, 2018.
29) Tuncay, Ö., Relationships between nitrate, chlorophyll and chromaticity values in rocket salad and parsley. African Journal of Biotechnology, 10, 17152-17159, 2011.
30) Majer, P., Sass, L., Horváth, G., Hideg, ÉLeaf hue measurements offer a fast, high-throughput initial screening of photosynthesis in leaves. Journal of Plant Physiology. 167(1), 74-76, 2010.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ARTHROBACTER UYGULAMALARININ ASTER (*Aster amellus* L.) FİDE GELİŞİMİNE ETKİLERİ

Yük. Zir. Müh. Ömer ÖZTAŞ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı

E-posta: omeroztas3065@mail.com (Orcid ID:0000-0001-9034-5675)

Doç. Dr. Özlem ÜZAL

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: ozlemuzal@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0002-1538-820X)

Prof. Dr. Fikret YAŞAR

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü

E-posta: fyasar@yyu.edu.tr (Orcid ID:0000-0001-6598-8580)

Özet

Çalışmanın amacı, *Arthrobacter sp.* (Art) suşlarının aster fidelerinin büyüme ve gelişimi üzerine etkilerini ve fide yetiştiriciliğinde kullanılabilirliğini belirlemeye çalışmaktır. Çalışmada, farklı konsantrasyonlarda uygulanan *Arthrobacter sp.* (Art) suşlarının [Art-1 (1.25 mL L^{-1}), Art-2 (2.5 mL L^{-1}), Art-3 (5 mL L^{-1})], aster (*Aster amellus* L.) fidelerinin gelişim parametreleri üzerindeki etkileri, sentetik NPK gübresi (20-20-20, 3g L^{-1}) ve kontrol grubu ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tüm uygulamalar, ilk gerçek yaprakların görüldüğü fenolojik dönemde, sulama suyu ile birlikte kök bölgesine verilmiştir. Araştırmada, kök ağırlığı (yaş ve kuru), kök uzunluğu, gövde boyu, gövde ağırlığı, gövde çapı, boğum arası mesafe, yaprak sayısı, yaprak ağırlığı ve yaprak klorofil içeriğini yansıtan renk değerleri analiz edilmiştir. Art-3 (5 mL L^{-1}) uygulamasının, kök (yaş/kuru ağırlık, uzunluk) ve gövde (boy, çap, biyokütle) gelişimine ilişkin tüm parametrelerde en yüksek değerleri kaydederek belirgin bir üstünlük sergilediğini ortaya koymuştur. Aynı uygulama, yaprak sayısında da istatistiksel olarak anlamlı bir artış sağlamıştır. Art-1 ve Art-2 uygulamaları ise kontrol grubuna kıyasla genel olarak daha iyi, ancak Art-3'e göre daha düşük seviyede bir performans göstermiştir. Sonuç olarak, özellikle Art-3 izolatının çok yönlü büyüme teşvik edici kapasitesi, bu mikrobiyal uygulamanın sürdürülebilir bitki yetiştiricilik sistemlerinde sentetik gübrelere etkili bir biyolojik alternatif olma potansiyeline işaret etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyostimülant, PGPR, *Arthrobacter* sp. NPK, Sürdürülebilir Tarım.

1. GİRİŞ

Sanayileşme sürecinde yaşanan kentleşme olgusu, insanın doğayla olan ilişkisinde bir yabancılaşmaya yol açmış; bu durum bireyler üzerinde sosyal ve psikolojik açıdan olumsuz etkiler doğurmuştur. Bu bağlamda, bitkisel tasarım ve çevresel düzenleme yaklaşımları, açık-yeşil alanları kent yaşamının bir parçası haline getirerek bireylerin doğaya duyduğu özlemi gidermeyi hedeflemektedir. [1,2] ile Aşur [3] tarafından yapılan çalışmalarda, peyzajın gözlemlenmesi ve tanımlanmasında en belirleyici fiziksel bileşenlerden birinin bitki örtüsü olduğu vurgulanmaktadır. Süs bitkileri ise dekoratif, estetik, ekonomik ve işlevsel nitelikleriyle, kentleşmenin yol açtığı doğadan uzaklaşma olgusunu telafi etmekle kalmamakta, aynı zamanda çevresel sorunların hafifletilmesine ve ekolojik dengenin desteklenmesine de katkıda bulunmaktadır. Bu bağlamda, süs bitkilerinin peyzajdaki bu belirleyici rolü ve artan önemi, Aster gibi türlerin yetiştiricilik ve üretim metodolojilerine yönelik bilimsel araştırmaların gerekliliğini daha da belirgin hale getirmektedir.

Küresel ölçekte ve Türkiye'de süs bitkilerine yönelik artan talebe karşın, bu alandaki yetiştiricilik ve üretim metodolojilerine ilişkin bilimsel araştırmalar beklenen düzeyin gerisinde kalmaktadır. Özellikle dış mekân peyzaj tasarımlarında estetik ve ekolojik değer taşıyan mevsimlik çiçekler grubunda yer alan; papatyagiller (*Asteraceae*) familyasına mensup Aster (*Aster Amellus* L.) türü de bu kapsamda değerlendirilmektedir. Bahsi geçen tür, çevre düzenleme projelerinde vazgeçilmez bir konumda bulunarak, kentsel peyzajın biyolojik çeşitlilik ve görsel kalite açısından zenginleşmesine önemli katkı sağlamaktadır. Bu türün agronomik potansiyelini tam olarak değerlendirebilmek için, öncelikle fide gelişim evresinde karşılaşılan kültürel kısıtların bilimsel perspektifle ele alınması gerekmektedir.

Fide yetiştiriciliğinin verimliliği ve başarısı, pek çok biyotik ve abiyotik stres faktöründen doğrudan etkilenmektedir. Bu olumsuz koşulların etkilerini en aza indirmek amacıyla, genellikle yetiştirme substratının fiziksel ve kimyasal özelliklerini iyileştirmeye yönelik uygulamalara başvurulmaktadır. Son yıllarda ise sürdürülebilir tarım paradigması içerisinde, toprak verimliliğini artırma stratejilerinden biri olarak faydalı toprak mikroorganizmalarının kullanımı ön plana çıkmaktadır [4]. Belirli bakteri ve fungus türlerinden oluşan bu mikrobiyal kültürler, tohum canlılığını ve çimlenme oranlarını artırmakta, aynı zamanda vejetatif çeliklerde köklenmeyi teşvik ederek üretim süreçlerinin etkinliğini yükseltmektedir. Bitki kök bölgesini (rizosfer) kolonize eden bu mikroorganizmalar, patojenik mantar ve bakterilerin gelişimini baskılayarak bir tür biyolojik koruma kalkanı oluşturur. Bunun yanı sıra, toprakta bulunan besin elementlerinin bitki tarafından alınabilirliğini artırarak büyüme ve gelişmeyi hızlandırırlar. Söz konusu mikrobiyal suşlar, bitki gelişim hormonları salgılayarak doğrudan generatif ve vejetatif büyümeyi uyarmakta; bu özellikleriyle sebzelerden tahıllara, süs bitkilerinden meyve ağaçlarına kadar çok çeşitli bitki türlerinde verim ve kalite artışına katkı sağlamaktadır [5,6,7]. Bu nedenle, tarımsal üretimde mikrobiyal temelli yaklaşımların benimsenmesi, gelecek vaat eden bir araştırma ve uygulama alanı olarak dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, bitki büyümesini teşvik edici rizobakteriler arasında önemli bir konuma sahip olan Arthrobacter cinsi bakteriler, söz konusu mikrobiyal mekanizmaların işlevselliğini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

Arthrobacter cinsi bakteriler, atmosferik azot fiksasyonu kapasiteleri ve rizosfer bölgesinde fosfor ile diğer esansiyel minerallerin çözünürlüğünü artırmaları nedeniyle bitki gelişimini teşvik edici özellikler göstermektedir [8,9]. Bu mikroorganizmaların söz konusu biyolojik özellikleri, konakçı bitkide besin elementi alım verimliliğini artırarak çeşitli büyüme parametrelerinde kayda değer iyileşmelere yol açmaktadır [10,11,12,13,14]. Nitekim Belimov [15]. tarafından yapılan çalışmada da Arthrobacter türlerinin bitki gelişimi ve besin alımı üzerinde olumlu etkileri olduğu doğrulanmıştır. Gözlemlenen yaprak sayısı artışı, Arthrobacter suşlarının bitki büyüme hormonları üzerindeki düzenleyici etkisiyle ilişkilendirilebilir. Bahsi geçen bakteriler, oksin ve giberellin gibi büyüme düzenleyici hormonların sentezini teşvik ederek yeni yaprak oluşumunu ve vejetatif gelişimi uyarmaktadır [16,17]. Benzer şekilde, gövde kuru ağırlığı ve boyundaki artışlar da bakterinin sağladığı besin elementleri alımındaki iyileşmenin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Arthrobacter'in bu çok yönlü bitki büyümesini teşvik edici rizobakteri (Plant Growth Promoting Rhizobacteria- PGPR) özellikleri, bitki-bakteri etkileşimlerinin tarımsal verimlilik açısından taşıdığı potansiyeli ortaya koymaktadır. Bitki gelişimini teşvik etmek için kullanılan bir diğer temel yöntem ise dengeli bir gübreleme programıdır**.**

Bitkilerin sağlıklı gelişimi, uygun besin maddeleriyle desteklenmesine bağlıdır ve bu süreçte gübre uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Özellikle NPK (azot, fosfor, potasyum) formülasyonları, saksı süs bitkilerinin gelişimi için temel bir gerekliliktir. Dengeli bir NPK uygulaması, bitkilerin kök gelişiminden yaprak oluşumuna kadar tüm büyüme aşamalarını desteklerken, fotosentez, enerji metabolizması ve protein sentezi gibi kritik biyokimyasal süreçleri optimize etmektedir. Yapılan araştırmalar, farklı NPK kombinasyonlarının yaprak genişliği, bitki boyu ve genel canlılık üzerinde belirgin olumlu etkileri olduğunu göstermektedir [18,19]. Azot, yaprakların yeşil rengini koruyarak estetik görünümü artırırken, fosfor kök gelişimini teşvik etmekte, potasyum ise su dengesini ve hastalık direncini güçlendirmektedir [20,21]. Dolayısıyla, süs bitkisi yetiştiriciliğinde bitki türüne ve büyüme koşullarına uygun bir NPK dengesi sağlamak hem bitki sağlığını hem de görsel kaliteyi en üst düzeye çıkarmak açısından büyük önem taşımaktadır.

Araştırmanın temel hedefi, biyostimülantların fidecilik uygulamalarındaki önemini ortaya koymak ve organik fide üretiminde değerlendirilebilecek alternatif bir yaklaşım olarak potansiyel katkılarını irdelemektir. Bu doğrultuda, biyostimülantların aster fidelerinin büyüme ve gelişim dinamikleri üzerindeki etkileri incelenmiş; elde edilen bulgular, fide yetiştiriciliğinde sürdürülebilir ve çevre dostu bir üretim modeli geliştirilmesine yönelik bilimsel bir perspektif sunmuştur.

2. **MATERYAL VE YÖNTEM**

Araştırma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü'ne ait Fizyoloji Laboratuvarı'nın kontrollü iklim odasında yürütülmüştür. Çalışmada bitki materyali olarak *Aster amellus* L. çeşidi kullanılmıştır. Deneme süresince iklim koşulları kontrol altında tutularak ortam sıcaklığı 23±2°C, bağıl nem %60-70 ve aydınlatma süresi ise 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık olacak şekilde sabitlenmiştir. Bitki yetiştirme ortamı, torf ve perlitin 3:1 oranında karıştırılmasıyla hazırlanmış ve viyollere doldurulmuştur. Tohum ekimi, tüm viyollerde aynı derinliğe gelecek şekilde gerçekleştirilmiş olup, çimlenme periyodu boyunca

saf su ile sulama yapılmış ve nem kaybını önlemek amacıyla viyollerin üzeri kağıtla kapatılmıştır. Çimlenme tamamlandıktan sonra bu örtü kaldırılarak, fidelerin büyümesine iklim odası koşullarında devam edilmiştir. Bitkilerde gerçek yaprakların görülmeye başlamasının ardından, büyümeyi teşvik edici farklı uygulamalara geçilmiştir. Çalışmada, her biri üç tekerrürlü olmak üzere toplam beş uygulama grubu oluşturulmuştur: Art-1, Art-2, Art-3, NPK ve Kontrol. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre kurulmuş ve toplamda 45 bitki üzerinde yürütülmüştür. Uygulama dozajları şu şekilde belirlenmiştir: Arthrobacter (Art) uygulamaları Art-1 (1.25 ml/L), Art-2 (2.5 ml/L) ve Art-3 (5 ml/L) dozlarında; NPK uygulaması ise 20-20-20 formülasyonunda 3 g/L dozunda hazırlanmıştır. Kontrol grubundaki bitkilere ise yalnızca saf su verilmiştir. Tüm biyostimülan ve gübre uygulamaları, saf su içerisinde homojen bir karışım elde edilecek şekilde hazırlanmış ve bu karışım büyüme ortamına uygulanmıştır. Söz konusu uygulamalar, birer hafta arayla olmak üzere iki kez tekrarlanmıştır. Deneme boyunca bitkiler, gelişim durumları göz önünde bulundurularak, her 2-3 günde bir düzenli olarak saf su ile sulanmıştır. Denemede kullanılan Arthrobacter sp. suşunun konsantrasyonu $1x10^5$ kob/ml, NPK ürünü ise ticari 20-20-20 formülasyonundadandır. Deneme sonunda, dikim olgunluğuna ulaşan fidelerde çeşitli büyüme parametreleri ölçülmüştür. Gövde uzunluğu kök boğazından büyüme noktasına kadar olan kısımda cetvelle ölçülürken, gövde çapı yine kök boğazından dijital kumpas kullanılarak tespit edilmiştir. Her bir bitkinin yaprak sayısı kayıt altına alınmış ve boğum arası mesafe, dijital kumpas yardımıyla 2. ve 3. boğumlar arasında ölçülmüştür. Hasat edilen bitkilerde kök uzunluğu cetvelle belirlenmiş; yeşil aksam ve köklerin yaş ağırlıkları hassas terazide tartılmıştır. Kuru ağırlık için ise bitki örnekleri 70°C'de 48 saat süreyle etüvde kurutulduktan sonra tartıma alınmıştır. Bitkilerinde örnek almadan önce yapraklarının üst yüzeyindeki farklı noktalardan, yaprak renginde meydana gelen değişimler Minolta CR-400 (Minolta Camera Co. LTD Ramsey, NJ) marka renk ölçer kromametre ile tespit edilmiştir. Elde edilen tüm veriler, Statgraphics istatistik analiz yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Verilere varyans analizi (ANOVA) uygulanmış ve ortalamalar arası farklılıklar %5 anlamlılık düzeyinde Duncan testi ile istatistiksel olarak gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışmadan kök parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 1' de, gövde ve boğum arası parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 2'de, yaprak parametrelerinden elde edilen değerler Çizelge 3'de, yaprak renk değerleri Çizelge 4'te belirtilmiştir.

Çizelge 1. Uygulamaların kök parametreleri üzerine etkileri.

Uygulamalar	Kök Yaş Ağırlığı (g)	Kök Kuru Ağırlığı (g)	Kök Uzunluğu (cm)
Kontrol	0,322±0,09 B	0,036±0,01 AB	9,556±1,13 C
NPK	0,160±0,04 C	0,022±0,00 C	8,500±1,17 C
Art-1	0,401±0,09 AB	0,030±0,01 BC	11,000±1,00 B
Art-2	0,372±0,20 AB	0,031±0,02 A-C	11,367±2,44 B
Art-3	0,456±0,04 A	0,043±0,01 A	13,222±1,09 A

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

P Değeri	0,0000	0,0084	0,0000

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir (p≤0.05).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda, farklı uygulamaların kök gelişim parametreleri üzerinde anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir. Art-3 uygulaması, kök yaş ağırlığı (0,456 ± 0,04 g), kök kuru ağırlığı (0,043 ± 0,01 g) ve kök uzunluğu (13,222 ± 1,09 cm) açısından diğer tüm grupları (Kontrol, NPK, Art-1, Art-2) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde geride bırakarak en yüksek performansı sergilemiştir. NPK uygulaması ise kök yaş ağırlığı ve uzunluğu bakımından en düşük değerleri kaydetmiş, ayrıca kök kuru ağırlığında Kontrol grubuna kıyasla daha düşük bir performans sergileyerek beklenen olumlu etkiyi ortaya koyamamıştır.

Çizelge 2. Uygulamaların gövde ve boğum arası parametreleri üzerine etkileri.

Uygulamalar	Gövde Boyu (cm)	Gövde Çapı (mm)	Gövde Yaş Ağırlığı (g)	Gövde Kuru Ağırlığı (g)	Boğum Arası (mm)
Kontrol	2.367±0.40 B	1.968±0.32 B	0.082±0.04 AB	0.010±0.00 B	2.101±0.43 B
NPK	2.378±0.32 B	2.014±0.29 AB	0.064±0.02 B	0.010±0.00 B	2.073±0.47 B
Art-1	1.478±0.39 C	1.978±0.17 B	0.061±0.02 B	0.007±0.00 B	2.011±0.26 B
Art-2	2.022±0.41 B	1.779±0.25 B	0.077±0.02 AB	0.009±0.00 B	1.448±0.25 C
Art-3	3.022±0.43 A	2.278±0.33 A	0.094±0.04 A	0.023±0.00 A	3.030±0.22 A
P Değeri	0.0000	0.0114	0.0897	0.0000	0.0000

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir (p≤0.05).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Elde edilen bulgulara göre, Art-3 uygulaması gövde boyu (3.022 ± 0.43 cm), gövde çapı (2.278 ± 0.33 mm), gövde kuru ağırlığı (0.023 ± 0.00 g) ve boğum arası mesafesi (3.030 ± 0.22 mm) parametrelerinde istatistiksel olarak en yüksek değerlere ulaşmış ve diğer tüm uygulamalardan anlamlı derecede üstün bir performans sergilemiştir. Buna karşılık, Art-1 uygulaması gövde boyu (1.478 ± 0.39 cm) açısından en düşük değeri kaydetmiş ve diğer uygulamalara kıyasla istatistiksel olarak en zayıf performansı göstermiştir. Gövde yaş ağırlığı parametresinde ise Art-3 ve Kontrol uygulamaları birbirine yakın ve nispeten yüksek değerler elde ederken, NPK ve Art-1 uygulamaları istatistiksel olarak daha düşük değerler kaydetmiştir.

Çizelge 3. Uygulamaların yaprak parametrelerine etkisi.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Uygulamalar	Yaprak Sayısı (Adet)	Yaprak Yaş Ağırlığı (g)	Yaprak Kuru Ağırlığı (g)
Kontrol	8.000±1.41 AB	1.223±0.31 A	0.144±0.04 A
NPK	7.444±1.13 B	0.768±0.28 B	0.094±0.03 B
Art-1	8.444±0.98 AB	1.061±0.31 AB	0.121±0.04 AB
Art-2	8.444±1.33 AB	1.056±0.36 AB	0.117±0.04 AB
Art-3	9.111±1.27 A	1.051±0.32 AB	0.132±0.04 AB
P Değeri	0.0679	0.0642	0.0990

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Yapılan istatiksel sonucunda, Art-3 uygulamasının yaprak sayısını (9.111±1.27 adet) istatistiksel olarak en yüksek seviyeye çıkardığı, buna karşılık NPK uygulamasının (7.444±1.13 adet) en düşük değere neden olduğu gözlemlenmiştir. Yaprak yaş ağırlığı ve kuru ağırlık değerlerinde ise kontrol grubu sırasıyla 1.223±0.31 g ve 0.144±0.04 g ile en yüksek ortalamalara ulaşırken, NPK uygulaması her iki parametrede de en düşük değerleri vermiştir. Art-1, Art-2 ve Art-3 uygulamaları ise hem yaprak sayısı hem de ağırlık değerleri açısından genellikle kontrol ile NPK grubu arasında ve birbirine yakın ara değerlerde sonuçlar göstermiştir.

Çizelge 4. Uygulamaların yaprak renk değerleri etkisi

Uygulamalar	L	a*	b*	Chroma	Hue
Kontrol	38.073±1.23 C	-13.393±0.32 B	23.337±0.55 C	26.910±0.51 B	119.890±0.79 B
NPK	35.140±0.63 D	-11.687±1.24 A	18.413±1.45 D	21.827±1.81 C	122.500±1.77 A
ART-1	41.900±0.59 A	-14.300±0.39 BC	26.943±0.56 A	31.070±0.17 A	117.320±0.15 C
ART-2	39.783±1.05 BC	-13.337±0.08 B	24.193±0.47 BC	27.773±0.11 B	118.417±0.17 BC
ART-3	40.230±1.42 AB	-15.110±0.73 C	25.923±2.21 AB	30.020±2.00 A	120.297±2.26 AB
P Değeri	0.0001	0.0013	0.0001	0.0000	0.0075

*Aynı sütunda farklı harfi alan ortalamalar arasındaki farklılık önemlidir ($p \leq 0.05$).
*Değerler (ortalama ± standart sapma) olarak verilmiştir.

Yaprak renk parametreleri üzerine yapılan istatistiksel sonuçlarına göre, farklı uygulamaların L* (parlaklık), a, *b*, Chroma (renk yoğunluğu) ve Hue (renk tonu) değerleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkileri olduğu belirlenmiştir. ART-1 uygulaması en yüksek L, b ve Chroma değerlerine sahipken, NPK uygulaması bu parametrelerde en düşük değerleri göstermiştir. Hue değeri ise NPK'da en yüksek, ART-1'de ise en düşük olarak ölçülmüştür.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Araştırmada, aster bitkilerine üç farklı dozda uygulanan Arthrobacter suşunun etkileri incelenmiş olup, elde edilen veriler Art-3 dozunun tüm gelişim parametreleri üzerinde kayda değer bir üstünlük sergilediğini ortaya koymuştur. Kontrol, NPK, Art-1 ve Art-2 uygulamaları ile karşılaştırıldığında, Art-3 grubunda kök ve gövde gelişimi, yaprak ve yaprak renk kalitesi gibi incelenen tüm özelliklerde istatistiksel olarak anlamlı ve tutarlı bir artış gözlenmiştir. Bu kapsamlı gelişim tepkisinin, kullanılan Arthrobacter suşunun sahip olduğu bitki gelişimini teşvik edici rizobakteri (PGPR) özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu üstün performans, birden fazla mekanizmayı eş zamanlı olarak harekete geçirebilme kapasitesi ile açıklanabilir.

Görsel. Deneme gruplarının (Art-1, Art-2, Art-3, NPK gübresi, Kontrol) hasattan önceki genel görüntüsü.

Kök gelişim parametreleri incelendiğinde, Art-3 uygulamasının en yüksek kök yaşı, kuru ağırlık ve uzunluk değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık NPK uygulaması, söz konusu parametrelerde en düşük değerleri kaydetmiştir. Art-1 ve Art-2 uygulamaları ise bu iki grup arasında orta düzeyde bir gelişim performansı sergilemiştir. Arthrobacter türlerinin, indol-3-asetik asit (IAA) başta olmak üzere oksin grubu fitohormonların üretimini teşvik ederek kök hücre bölünmesini ve dolayısıyla kök büyümesini doğrudan uyardığı literatürde belgelenmiştir [22-23]. Ayrıca, bu bakteri grubunun topraktaki besin elementleri – özellikle fosfor – çözünürlüğünü artırma kapasitesi, bitkinin besin alım verimliliğini yükselterek kök sisteminin hem biyokütlesini hem de işlevselliğini geliştirmektedir [24,25]. NPK uygulamasının kök gelişimi üzerindeki olumsuz etkisi ise, sentetik gübrenin toprak mikrobiyal dengesi üzerinde oluşturduğu inhibitör etki veya bitki fizyolojisinde yol açtığı dengesiz beslenme durumu ile açıklanabilir.

Gövde gelişim parametrelerinde de paralel bir eğilim gözlemlenmiş olup, Art-3 uygulaması gövde boyu, çapı, yaş ve kuru ağırlık ile boğum arası mesafe açısından en yüksek değerlere

ulaşmıştır. Öte yandan, Art-1 uygulaması gövde boyu parametresinde en düşük performansı sergilemiştir. *Arthrobacter* tarafından uyarılan gelişmiş kök sisteminin sağladığı artan su ve besin alım kapasitesinin, gövdede biyokütle birikimini desteklediği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, bakterinin doğrudan ürettiği veya bitkide indüklediği büyüme düzenleyici maddelerin, gövdede hücre bölünmesi ve uzamasını teşvik ettiği literatürde bildirilmektedir [26]. Art-1 ve Art-2 uygulamalarının nispeten daha düşük gövde gelişimi göstermesi ise, farklı *Arthrobacter* formülasyonlarına veya uygulama konsantrasyonlarına bağlı etkinlik derecelerindeki varyasyondan kaynaklanıyor olabilir.

Yaprak gelişim parametreleri değerlendirildiğinde, Art-3 uygulamasının yaprak sayısını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artırdığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yaprak yaş ve kuru ağırlık değerlerinde en yüksek ortalamalar Kontrol grubunda gözlenmiştir. NPK uygulaması ise hem yaprak sayısı hem de ağırlık parametrelerinde en düşük değerlere sahip olmuştur. Arthrobacter gibi Bitki Gelişimini Teşvik Eden Rizobakterilerin (PGPR), bitkilerin fotosentez kapasitesini ve buna bağlı olarak asimilat üretimini artırarak yeni yaprak oluşumunu uyardığı literatürde bildirilmektedir [27]. Yaprak ağırlığındaki bu beklenmedik dağılımın ise, bitkinin büyüme stratejisi çerçevesinde karbon dağılımındaki önceliklerinden veya diğer çevresel faktörlerden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Yaprak renk parametrelerinin analizinde, ART-1 uygulaması en yüksek L* (parlaklık), b* (sarı ton) ve Chroma (renk canlılığı) değerlerini kaydederken, NPK uygulaması bu parametreler bakımından en düşük değerlere sahip olmuştur. Renk tonunu ifade eden Hue açısından ise, en yüksek değer NPK uygulamasında, en düşük değer ise ART-1 uygulamasında ölçülmüştür. Sağlıklı bitki dokusunda yüksek klorofil içeriğinin, belirli bir renk tonu (Hue) ve yüksek renk canlılığı (Chroma) ile ilişkili olduğu bilinmektedir [28]. Arthrobacter'in bitki besin elementi alımını ve metabolik verimliliği artırarak klorofil sentezini dolaylı yoldan teşvik etmesi, bu uygulamadaki olumlu renk parametrelerini açıklayabilecek bir mekanizma olarak öne çıkmaktadır. NPK uygulamasının sergilediği farklı renk profili ise, sentetik gübrenin bitki fizyolojisi ve pigmentasyon dinamikleri üzerindeki farklılaşmış etkisinden kaynaklanıyor olabilir.

Sonuç olarak, farklı uygulamaların bitki büyüme parametreleri üzerinde belirgin ve tutarlı etkileri olduğu ortaya konmuştur. Genel olarak, Art-3 uygulaması kök, gövde ve yaprak gelişim parametrelerinin büyük çoğunluğunda en yüksek performansı sergileyerek, Arthrobacter türlerinin bitki gelişimini teşvik edici potansiyelini açık bir şekilde kanıtlamıştır. Bu üstün performansın arka planında, bakterilerin indol-3-asetik asit (IAA) gibi oksin grubu fitohormonların üretimi yoluyla doğrudan hücre bölünmesini ve uzamasını uyarması ile topraktaki besin elementlerinin, özellikle fosforun, biyolojik çözünürlüğünü artırarak bitkinin besin alım verimliliğini yükseltmesi gibi sinerjik mekanizmaların rol oynadığı değerlendirilmektedir. Buna karşılık, sentetik NPK uygulamasının söz konusu parametrelerde en düşük değerleri kaydetmesi, kimyasal gübrelerin toprak mikrobiyal dengesi ve bitki fizyolojisi üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilere işaret etmektedir. Art-1 ve Art-2 uygulamalarının orta düzeydeki gelişim performansı ise, farklı bakteri formülasyonlarının veya uygulama protokollerinin etkinlik derecelerindeki değişkenliği yansıtmaktadır. Arthrobacter sp. bazlı biyogübrelerin, özellikle Art-3 izolatı/formülasyonu ile temsil edilen türün, bitkisel

büyümeyi çok yönlü teşvik etme kapasitesi nedeniyle sürdürülebilir süs bitkileri uygulamalarında sentetik gübrelere alternatif veya tamamlayıcı bir seçenek olarak önemli bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1) Akpınar Külekçi E. ve Bulut, Y., Oltu ve Olur İlçelerinde Peyzaj Değeri Taşıyan Bazı Yerörtücü Bitkilerin Flora Turizmi Potansiyeli Açısından Değerlendirilmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 6(1), 95-105, 2016.
2) Aşur, F. ve Alphan, H., Görsel peyzaj kalite değerlendirmesi ve alan kullanım planlamasına olan etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 28(1), 117-125, 2018.
3) Aşur, F., Ornamental Plants Which Can Be Used in Visual Landscape Improvement in Cold Climate Regions. Journal of International Environmental Application and Science, 14(4), 152-159, 2019.
4) Nelson, L. M., Piant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. Online. Crop Management doi:10.1094/CM-2004-0301- 05-RV, 2004.
5) Vessey, J. K., Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586, 2003.
6) Kloepper, J.W., Reddy, M.S., Rodriguez-Kabana R., Kenney, D.S., Kokalis-Burelle N., Martinez- Ochoa N., Vavrina C.S., Application for rhizobacteria in transplant production and yield enhancement. Acta Hort. 631, 217-229, 2004.
7) Harman, G.E., Overview of Mechanisms and Uses of Trichoderma spp. Phytopathology 96:190-194, 2006.
8) Kusale, S.P., Attar, Y.C., Sayyed, R.Z., Malek, R.A., Ilyas, N., Suriani, N.L., Production of plant beneficial and antioxidants metabolites by Klebsiella variicola under salinity stress. Molecules. 26, 1894. https://doi.org/10.3390/molecules26071894, 2021.
9) Bhat, B.A., Tariq, L., Nissar, S., Islam, S.T., Islam, S.U., Mangral, Z., Dar, T.U.H., The role of plant-associated rhizobacteria in plant growth, biocontrol and abiotic stress management. Journal of Applied Microbiology. 133(5), 2717-2741, 2022.
10) Albdaiwi, R.N., Khyami-Horani, H., Ayad, J.Y., Plant growth-promoting rhizobacteria: An emerging method for the enhancement of wheat tolerance against salinity stress. Jordan Journal of Biological Sciences. 12(5), 2019.
11) Sharafzadeh, S., Effects of PGPR on growth and nutrients uptake of tomato. International Journal of Advances in Engineering & Technology, 2(1), 27-31, 2012.
12) Singh, S., Gupta, G., Khare, E., Behal, K. K., Arora, N. K., Osate solubilizing rhizobia promote the growth of chickpea under buffering conditions. International Journal of Pure & Applied Bioscience, 2(5), 97-106, 2014.
13) Fan, X., Zhang, S., Mo, X., Li, Y., Fu, Y., Liu, Z,. Effects of plant growth promoting rhizobacteria and N source on plant growth and N and P uptake by tomato grown on calcareous soils. Pedosphere. 27(6), 1027-1036, 2017.
14) Biçer, Ş, Farklı Sulama Uygulamalarının Bitki Gelişimini Arttıran Kök Bakterileri (Pgpr) ve Arbusküler Mikorhizal Fungus (Amf) Uygulanmış Hıyarda Bitki Özellikleri, Verim ve Kaliteye Etkileri. Doktora Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, 208p, 2020.

15) Belimov, A., Kojemiakov, A., Chuvarliyeva, C., Interaction between barley and mixed cultures of nitrogen fixing and phosphate-solubilizing bacteria. Plant and Soil. 173, 29-37, 1995.
16) Naz, I., Bano, A., Ul-Hassan, T., Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to Glycine max L. African Journal of Biotechnology 8(21), 2009.
17) Küçük, Ç., Almaca, A., Bitki gelişimini teşvik eden rizobakteriler tarafından üretilen metabolitler ve bitki gelişimine etkileri. International Journal of Life Sciences and Biotechnology. 3(1), 81-94, 2020.
18) El-Naggar, A.H.; Ahmad, Y.A.A., The Effect Of Light İntensity And Npk Fertilization On Growth Of Yucca Rupicola, L. Journal Of Advanced Studies İn Agricultural, Biological And Environmental Sciences, V.3, N.1, P.32-41, 2016.
19) Abou Dahab, T.A.M., Ashour, H.A., El-Deeb, E.E.A., Saber, M.M.H., Response of Chamaedorea elegans, Mart. plants grown under different light intensity levels to chemical and organic fertilization treatments. Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants, v.9, n.2, p.72-85, 2017.
20) El-Sayed, S.G.; Ismaıl, S.M., Influence Of Bio And Chemical Fertilization On Croton Production. Assiut Journal Of Agricultural Sciences, V.48, N.3, P. 112-122, 2017.
21) Mohamed, Y.F.Y., Influence of different growing media and kristalon chemical fertilizer on growth and chemical composition of Areca Palm (Dypsis cabadae H. E. Moore) Plant. 26(11), 2349-2359, 1993.
22) Katznelson H., Sirois J.C., Auxin production by species of Arthrobacter. Nature 191: 1323–1324, 1961.
23) Forni C., Riov J., Grilli M.G., Tel-Or E., Indole-3-acetic acid (IAA) production by Arthrobacter species isolated from Azolla. Microbiology, 138: 377–381,1992.
24) Cacciari, I., Lippi, D., Arthrobacters: successful arid soil bacteria: a review. Arid Land Research and Management, 1(1), 1-30, 1987.
25) Kumar, A., Maurya, B., Raghuwanshi, R., Meena, V., Islam, M., Co inoculation with enterobacter and rhizobacteria on yield and nutrient uptake by wheat (Triticum aestivum L.) in the alluvial soil under Indo-Gangetic plain of ındia. Journal of Plant Growth Regulation, 36, 608-617, 2017.
26) Latef, A., Alhmad, M., Kordrostami, M., Abo-baker, A., Zakir, A., Inoculation with Azospirillum lipoferum or Azotobacter chroococcum reinforces maize growth by improving physiological activities under saline conditions. Journal of Plant Growth Regulation. 39, 1293-1306, 2020.
27) Felici, C., Vettori, L., Giraldi, E., Forino, L. M. C., Toffanin, A., Tagliasacchi, A. M., Nuti, M., Single and co-inoculation of Bacillus subtilis and Azospirillum brasilense on Lycopersicon esculentum: effects on plant growth and rhizosphere microbial community. Applied Soil Ecology, 40(2), 260-270, 2008.
28) Majer, P., Sass, L., Horváth, G., Hideg, É., Leaf hue measurements offer a fast, high-throughput initial screening of photosynthesis in leaves. Journal of Plant Physiology, 167(1), 74-76, 2010.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KURAKLIK STRESİNE MARUZ BIRAKILAN MEYVE TÜRLERİNDE BOR UYGULAMALARININ ETKİLERİ

Öğr. Gör. Dr. Selcan ÖZYALIN
Yozgat Bozok Üniversitesi,
selcan.ozyalin@yobu.edu.tr - 0000-0003-4831-8600

Doç. Dr. Murat GÜNEY
Yozgat Bozok Üniversitesi,
murat.guney@yobu.edu.tr - 0000-0003-2882-8347

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY
Yozgat Bozok Üniversitesi,
mujgan.guney@yobu.edu.tr - 0000-0001-5491-1430

Doç. Dr. Servet ARAS
Yozgat Bozok Üniversitesi,
servet.aras@yobu.edu.tr - 0000-0002-0347-6552

ÖZET

Kuraklık stresi, meyve yetiştiriciliğinde bitki büyümesi, verim ve meyve kalitesi üzerinde önemli olumsuz etkilere yol açan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir. Su kısıtı, bitkilerde fotosentetik aktivitenin azalmasına, hücre zar bütünlüğünün bozulmasına ve metabolik dengenin olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır. Bu koşullar altında mikro besin elementlerinin dengeli kullanımı, bitkilerin kuraklık stresine karşı dayanıklılığının artırılmasında önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bor, hücre duvarı stabilitesi, karbonhidrat taşınımı ve üreme organlarının gelişimi gibi temel fizyolojik süreçlerde görev alan bir mikro besin elementidir. Kuraklık stresi altında borun yeterli düzeyde bulunması, hücre zar stabilitesinin korunmasına ve fizyolojik süreçlerin sürdürülebilirliğine katkı sağlayabilmektedir. Özellikle yapraktan uygulanan borun kuraklık koşullarında meyvelerin büyüme ve verim kayıplarını sınırlayabildiği ve bazı meyve kalite özelliklerini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir. Bu çalışmada, kuraklık stresi koşullarında yetiştirilen meyvelerde, bor uygulamalarının fizyolojik etkileri ve üretim performansı üzerindeki rolü değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık Stresi, Bor, Meyve Yetiştiriciliği, Mikro Besin Elementi, Verim

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EFFECTS OF BORON APPLICATIONS ON FRUIT SPECIES EXPOSED TO DROUGHT STRESS

Lecturer Dr. Selcan ÖZYALIN
Yozgat Bozok University,
selcan.ozyalin@yobu.edu.tr - 0000-0003-4831-8600

Assoc. Prof. Dr. Murat GÜNEY
Yozgat Bozok University,
murat.guney@yobu.edu.tr - 0000-0003-2882-8347

Assoc. Prof. Dr. Müjgan GÜNEY
Yozgat Bozok University,
mujgan.guney@yobu.edu.tr - 0000-0001-5491-1430

Assoc. Prof. Dr. Servet ARAS
Yozgat Bozok University,
servet.aras@yobu.edu.tr - 0000-0002-0347-6552

ABSTRACT

Drought stress is one of the major abiotic stress factors causing significant adverse effects on plant growth, yield, and fruit quality in fruit cultivation. Water limitation leads to a reduction in photosynthetic activity, disruption of cell membrane integrity, and negative alterations in metabolic balance in plants. Under these conditions, the balanced use of micronutrients is considered an important approach to enhancing plant tolerance to drought stress. Boron is a micronutrient involved in fundamental physiological processes such as cell wall stability, carbohydrate transport, and the development of reproductive organs. Adequate boron availability under drought stress conditions can contribute to the maintenance of cell membrane stability and the sustainability of physiological processes. It is well documented that boron applications, particularly foliar applications, can limit growth and yield losses in fruits under drought conditions and positively affect certain fruit quality attributes. In this study, the physiological effects of boron applications and their role in production performance were evaluated in fruits grown under drought stress conditions.

Keywords: Drought Stress, Boron, Fruit Cultivation, Micronutrient, Yield

1. GİRİŞ

İklim değişikliği ile birlikte artan kuraklık olayları, meyve yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretimi tehdit eden en önemli çevresel faktörlerden biri haline gelmiştir. Kuraklık stresi, bitkilerde su potansiyelinin düşmesine bağlı olarak fotosentez hızının azalmasına, hücre zarlarında hasara, metabolik faaliyetlerin baskılanmasına ve oksidatif stresin artmasına neden olmaktadır (Çırak ve Esendal, 2006; Farooq vd., 2009). Özellikle çok yıllık meyve türlerinde uzun süreli su kısıtı, bitki büyümesi ve gelişimini olumsuz etkilemekle birlikte, verim kayıplarına ve meyve kalitesinde önemli düşüşlere yol açmaktadır.

Bitkiler, çevresel stres faktörlerine karşı çeşitli fizyolojik, biyokimyasal ve moleküler adaptasyon mekanizmaları geliştirmiştir. Ancak, bu adaptasyonların etkinliği türler arasında ve hatta aynı türün farklı çeşitleri arasında değişkenlik gösterebilmektedir (Çırak ve Esendal, 2006). Bitkilerin kuraklık stresine karşı geliştirdiği tolerans mekanizmaları; su kullanım etkinliği, hücre duvarı bütünlüğü, karbonhidrat taşınımı ve antioksidan savunma sistemleri gibi çok sayıda fizyolojik süreci kapsamaktadır. Bu süreçlerin düzenlenmesinde bitki besin elementlerinin dengeli alımı büyük önem taşımaktadır. Mikro besin elementleri arasında yer alan bor (B), bitki fizyolojisinde kritik role sahip olması nedeniyle kuraklık stresi araştırmalarında giderek daha fazla dikkat çekmektedir (Brown vd., 2002; Farooq vd., 2009).

Kuraklık stresinin meyve türlerinde oluşturduğu zararların azaltılması için bor uygulamalarının potansiyel etkileri, mevcut literatürde sınırlıdır. Bu nedenle, meyve türlerinde bor uygulamalarının kuraklık stresine karşı etkinliğinin araştırılması, hem temel fizyolojik mekanizmaların anlaşılması hem de tarımsal uygulamalar açısından büyük önem taşımaktadır.

2. KURAKLIK STRESİNİN MEYVE TÜRLERİNDE FİZYOLOJİK ETKİLERİ

Kuraklık stresinin bitkiler üzerindeki etkileri, öncelikle su kaybı ve bunun sonucunda meydana gelen hücresel ve dokusal değişikliklerle başlamaktadır. Su eksikliği, hücre turgorunun azalmasına, stomaların kapanmasına ve fotosentez hızının düşmesine yol açmaktadır (Farooq vd., 2009). Bununla birlikte, kuraklık stresi sırasında bitkilerde hücre zar geçirgenliğinin artması, iyon dengesinin bozulması ile reaktif oksijen türleri (ROS) üretimi artar ve bu durum oksidatif stresin gelişmesine neden olur (Chaves vd., 2009; Shumilina vd., 2018). ROS birikimi, lipid peroksidasyonu, protein oksidasyonu ve DNA hasarı gibi hücresel düzeyde ciddi zararlara yol açar. Bitkiler, bu zararlı etkileri minimize etmek için antioksidan enzimler (örneğin süperoksit dismutaz, katalaz, peroksidazlar) ve non-enzimatik antioksidanlar (örneğin askorbat, glutatyon, prolin) üretirler (Torun ve Eroğlu, 2021; Özyalın, 2025). Ancak, şiddetli kuraklık koşullarında bu savunma sistemleri yetersiz kalabilir ve bitkilerde oksidatif stresin etkileri daha belirgin hale gelir (Torun ve Eroğlu, 2021). Oksidatif stres, proteinlerin, lipidlerin ve nükleik asitlerin zarar görmesine, hücresel işlevlerin bozulmasına ve nihayetinde meyve türlerinde bu durum çiçeklenme, meyve tutumu ve meyve gelişimi süreçlerini doğrudan etkileyerek, sonuçta verim ve kalite kayıplarına neden olmaktadır (Shumilina vd., 2018).

Kuraklık stresinin meyve türlerinde oluşturduğu zararlar, sadece bitki gelişimiyle sınırlı kalmaz; aynı zamanda raf ömrü ve besin değerlerinde de ciddi kayıplara neden olur. Örneğin, elma gibi önemli meyve türlerinde kuraklık stresi, meyve sertliği, şeker-asit oranı ve su içeriği gibi kalite parametrelerinde olumsuz değişikliklere yol açmaktadır (Cheng vd., 2023). Ayrıca,

kuraklık stresine maruz kalan bitkilerde fotosentetik pigmentlerin azalması, klorofil kaybı ve gaz değişim parametrelerinde düşüşler gözlenmektedir (Altuntaş, 2023). Bu tür fizyolojik değişiklikler, meyve verimi ve kalitesinin sürdürülebilirliği açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır.

3. BORUN BİTKİ FİZYOLOJİSİNDEKİ ROLÜ

Bor, bitkiler için hayati öneme sahip bir mikro besin elementidir. Eksikliği durumunda yaprakların fotosentetik ışığı kullanma kapasitesi azalır. Bor eksikliği ayrıca, bitkilerde büyüme geriliği, çiçeklenme ve meyve tutumunda azalma, hücre duvarı bütünlüğünün bozulması gibi çeşitli fizyolojik bozukluklara yol açabilmektedir (Wojcik vd., 2008; Tepe ve Aydemir, 2017; Ödemiş ve Uncu, 2022). Bor, hücre uzaması, nükleik asit sentezi, hormon dengesi ve hücre zarı işlevlerinde görev almaktadır. Ayrıca fotosentezle oluşan maddelerin yapraklardan kök ve sürgün uçlarındaki meristematik dokulara taşınmasını sağlar. Hücre zarının bütünlüğü, azot fiksasyonu, yumru (nodül) oluşumu ve tohum-meyve gelişimi gibi süreçlerde de etkilidir. Toprakta doğal olarak bulunsa da, bor yağışla yıkanma veya bazı tarımsal uygulamalar sonucu azalabilir. Özellikle organik madde oranı düşük, kumlu ve asidik topraklarda bor eksikliği daha sık görülür (Marschner, 2012; Tepe ve Aydemir, 2017; Ödemiş ve Uncu, 2022). Bununla birlikte, borun optimal düzeyde uygulanması, bitkilerde antioksidan savunma sistemlerinin güçlendirilmesinde rol oynadığı ve abiyotik streslere karşı toleransı artırdığı bilinmektedir (Tepe ve Aydemir, 2017; Ödemiş ve Uncu, 2022).

4. KURAKLIK STRESİ ALTINDA BOR UYGULAMALARI

Kuraklık stresine karşı bitkilerde uygulanan çeşitli yönetim stratejileri arasında, mineral besin elementlerinin kullanımı önemli bir yer tutmaktadır. Bor, normal koşullarda bitkilere uygulandığında vejetatif gelişimi, meyve verim ve kalitesini arttırmaktadır (Ullah vd., 2012; Erdal ve Türkan, 2016; İkinci vd., 2021; Yörük ve Eraslan İnal, 2023; Álvarez-Herrera vd., 2025). Kuraklık koşullarındaki etkileri ise son yıllarda belirlenmeye çalışılmıştır. Besin elementlerinin su stresinin olumsuz etkilerini hafifletmedeki etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunurken (Waraich vd., 2011), meyvecilikteki araştırmalar sınırlıdır. Kuraklık koşullarında topraktaki borun bitki tarafından alımı ve taşınımı sınırlanabilmektedir. Bu durum, bitkilerin bor beslenmesine olan duyarlılığını artırmaktadır. Yapılan çalışmalar, özellikle yapraktan bor uygulamalarının kuraklık stresi altında hücre zar stabilitesini desteklediğini ve fizyolojik süreçlerin sürekliliğine katkı sağladığını göstermektedir (Wojcik vd., 2008; Tepe ve Aydemir, 2017). Nitekim, borun yaprak uygulamasının ayçiçeğinde (Hassan vd., 2011; Shehzad vd., 2018), susamda (Dehnavi vd., 2017) ve mısırda (Naeem vd., 2018) kuraklık stresine toleransı artırdığı bildirilmiştir. Başka bir araştırmacı, hidroponik ortamda yetiştirdiği domates fidelerine bor uygulaması yapmış ve borun gen ekspresyonunu ve antioksidan enzim aktivitesini artırarak kuraklık stresini hafiflettiğini bildirmiştir (Aydın vd., 2019).

Kuraklık stresinin meyve türlerinde oluşturduğu fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikler, bor uygulamalarının potansiyel etkilerini anlamak açısından önemlidir. Meyve türlerinde yürütülen sınırlı sayıdaki çalışmada, kuraklık koşullarında uygulanan borun büyüme geriliğini azalttığı, verim kayıplarını sınırladığı ve bazı meyve kalite parametrelerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Ödemiş ve Uncu, 2022; Tao vd., 2024). Bununla birlikte, borun dar bir optimum aralığa sahip olması nedeniyle aşırı uygulamaların toksisite riskini beraberinde getirdiği vurgulanmaktadır

(Yau ve Ryan, 2008; Kaur vd., 2023). Literatürde mevcut çalışmalar, ılıman iklim meyvelerinden kayısı (Ödemiş ve Uncu, 2022) ve hünnap (Tao vd., 2024); tropik-subtropik meyvelerden kahve (Ramirez-Builes vd., 2024) ve nar (Ghanbarpour vd., 2019) türlerinde yürütülüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kuraklık stresi koşullarında bor uygulaması yapılan meyve türleri, bor uygulama şekli ve bazı bulgular

Meyve türü	Uygulama şekli ve dozu	Elde edilen sonuçlar	Referans
Nar	Yapraklara püskürtme %3 Kalsiyum + %1 Bor	Meyve çatlamasına karşı %100 koruma sağlamamış fakat diğer kombinasyonların (kalsiyum, bor, hümik asit ve kaolin) birçoğunun abiyotik stres koşullarında nar meyvesindeki çatlama yüzdesini önemli ölçüde azalttığı bildirilmiştir.	Ghanbarpour vd., 2019
Kayısı (*Prunus armeniaca*)	Yapraklara püskürtme 150, 225 ve 300 ppm	Verim artışı sağlamıştır.	Ödemiş ve Uncu, 2022
Hünnap (*Ziziphus jujuba*)	Yapraklara püskürtme 1.5, 3.0, 4.5 ve 6.0 kg/hm²	Hünnap ağaçlarının büyümesini, gelişimini ve genel faydalarını desteklediği bildirilmiştir.	Tao vd., 2024
Kahve	Toprağa uygulama B içeren kalsiyum nitrat bazlı bir ürün (B içeren uygulamada %15.3 N; %18.5 Ca; ve %0.32 B) 12.2 mg/bitki	B uygulaması abiyotik stresin olumsuz etkisi önemli ölçüde azaltmış, verimi ve kaliteyi arttırmıştır.	Ramirez-Builes vd., 2024

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Kuraklık stresi koşullarında meyve türlerinde bor uygulamaları, bitki fizyolojisinin korunması ve verim kayıplarının azaltılması açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak borun dar bir optimum aralığa sahip olması nedeniyle, uygulamaların toprak ve yaprak analizlerine dayalı olarak planlanması gerekmektedir.

Literatür genel olarak değerlendirildiğinde borun, bitki fizyolojisinde oynadığı kritik roller ve stres koşullarında gösterdiği koruyucu etkiler göz önüne alındığında, meyve türlerinde kuraklık stresine karşı bor uygulamalarının potansiyel faydalarının araştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak meyve türlerinde mevcut çalışmaların sayısı sınırlı olup, tür ve çeşit bazında farklı sonuçlar rapor edilmektedir. Bu durum, bor uygulamalarının etkilerinin bitki türü, uygulama şekli, doz ve çevresel koşullara bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Bu kapsamda özellikle, borun su durumu, klorofil içeriği, gaz değişim parametreleri ve oksidatif stres göstergeleri üzerindeki etkilerinin ayrıntılı olarak incelenmesi, meyve türlerinde

kuraklık stresine karşı sürdürülebilir ve etkili yönetim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Gelecekte, farklı meyve türleri ve stres düzeyleri altında bor uygulamalarını inceleyen kontrollü çalışmaların artırılması, konuya ilişkin bilgi birikimini önemli ölçüde geliştirecektir.

KAYNAKÇA

Altuntaş, C., Bodur Mürver (*Sambucus ebulus* L.) meyve ekstraktının mısır fidelerindeki kuraklık toleransına etkisi. Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 24(2), 2023.

Álvarez-Herrera, J. G., Jaime-Guerrero, M., & Fischer, G., The effect of boron on fruit quality: A review. Horticulturae, 11(8), 992, 2025.

Aydin, M., Tombuloglu, G., Sakcali, M. S., Hakeem, K. R., & Tombuloglu, H., Boron alleviates drought stress by enhancing gene expression and antioxidant enzyme activity. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 19(3), 545-555, 2019.

Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., & Römheld, V., Boron in plant biology. Plant biology, 4(2), 205-223, 2002.

Chaves, M. M., Flexas, J., & Pinheiro, C., Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany, 103(4), 551-560, 2009.

Cheng, P., Yue, Q., Zhang, Y., Zhao, S., Khan, A., Yang, X., ... & Guan, Q., Application of γ-aminobutyric acid (GABA) improves fruit quality and rootstock drought tolerance in apple. Journal of Plant Physiology, 280, 153890, 2023.

Çırak, C., & Esendal, E., Soyada kuraklık stresi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 21(2), 231-237, 2006.

Dehnavi, M. M., Misagh, M., Yadavi, A., & Merajipoor, M., Physiological responses of sesame (*Sesamum indicum* L.) to foliar application of boron and zincunder drought stress. J. Plant Process Funct, 6, 27-36, 2017.

Erdal, İ., & Türkan, Ş. A., Elma çeşitlerine yapraktan bor uygulamasının bitkinin mineral beslenmesiyle meyvenin verim ve kalitesine etkisi. Toprak Su Dergisi, 5(2), 37-41, 2016.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Basra, S. M. A., Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In Sustainable agriculture (pp. 153-188). Dordrecht: Springer Netherlands, 2009.

Ghanbarpour, E., Rezaei, M., & Lawson, S., Reduction of cracking in pomegranate fruit after foliar application of humic acid, calcium-boron and kaolin during water stress. Erwerbs-obstbau, 61(1), 29-37, 2019.

Hassan, N. M., El-Sayed, A. K., Ebeid, H. T., Alla, M. M. N., Molecular aspects in elevation of sunflower tolerance to drought by boron and calcium foliar sprays. Acta Physiol Plant, 33(2), 593–600, 2011.

İkinci, A., Aldanmaz, Ş., & Bolat, İ., Bor ve çinko içerikli yaprak gübresi uygulamalarının kiraz (*Prunus avium* L.) meyvelerinin bazı kalite özellikleri üzerine etkileri. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 8(3), 557-566, 2021.

Kaur, H., Kaur, H., Kaur, H., & Srivastava, S., The beneficial roles of trace and ultratrace elements in plants. Plant Growth Regulation, 100(2), 219-236, 2023.

Marschner, P., Marschner's mineral nutrition of higher plants. Third edition, Academic press, 2012.

Naeem, M., Naeem, M. S., Ahmad, R., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Ihsan, M. Z., ... & Abdullah, M., Improving drought tolerance in maize by foliar application of boron: water status, antioxidative defense and photosynthetic capacity. Archives of Agronomy and Soil Science, 64(5), 626-639, 2018.

Ödemiş, B., & Uncu, S., Determining effects of foliar boron applications on yield and fruit quality of apricot trees for reducing water stress. Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27(1), 47-60, 2022.

Özyalın, S. *In vitro koşullarda çoğaltılan ahududu (Rubus idaeus L.) bitkilerine dışsal melatonin uygulamalarının kuraklık stresi üzerine etkilerinin belirlenmesi* (Tez No. 972499). Doktora tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yozgat, 2025.

Ramirez-Builes, V. H., Küsters, J., Thiele, E., & Leal-Varon, L. A., Boron nutrition in coffee improves drought stress resistance and, together with calcium, improves long-term productivity and seed composition. Agronomy, 14(3), 474, 2024.

Shehzad, M. A., Maqsood, M., Nawaz, F., Abbas, T., & Yasin, S., Boron-induced improvement in physiological, biochemical and growth attributes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to terminal drought stress. Journal of Plant Nutrition, 41(8), 943-955, 2018.

Shumilina, J. S., Kuznetsova, A. V., Frolov, A. A., & Grishina, T. V., Drought as a form of abiotic stress and physiological markers of drought stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry, 14(4), 5-15, 2018.

Tao, W., Zeng, S., Yan, K., Alwahibi, M. S., & Shao, F., Effects of boron and zinc micro-fertilizer on growth and quality of jujube trees (*Ziziphus jujuba*) in the desert area. Agronomy, 14(4), 741, 2024.

Tepe, H. D., & Aydemir, T., Boron effect on growth and mineral content of lentil plant (*Lens culinaris*) under salt stress. Celal Bayar University Journal of Science, 13(3), 769-775, 2017.

Torun, H., & Eroğlu, E., Antioxidant defense system in Borago officinalis L. under drought stress. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 8(4), 1048-1055, 2021.

Ullah, S., Khan, A. S., Malik, A. U., Afzal, I., Shahid, M., & Razzaq, K., Foliar application of boron influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive growth, yield and fruit quality of ‘Kinnow’mandarin (*Citrus reticulata* Blanco.). Journal of Plant Nutrition, 35(13), 2067-2079, 2012.

Waraich, E. A., Ahmad, R., & Ashraf, M. Y., Role of mineral nutrition in alleviation of drought stress in plants. Australian Journal of Crop Science, 5(6), 764–777, 2011.

Wojcik, P., Wojcik, M., & Klamkowski, K., Response of apple trees to boron fertilization under conditions of low soil boron availability. Scientia Horticulturae, 116(1), 58-64, 2008.

Yau, S. K., & Ryan, J., Boron toxicity tolerance in crops: a viable alternative to soil amelioration. Crop Science, 48(3), 854-865, 2008.

Yörük, S. İ., & Eraslan İnal, F., Yapraktan kalsiyum ve bor uygulamasının narın (*Punica granatum* cv. Hicaznar) mineral beslenmesi, verimi ve meyve çatlaması üzerine etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, 18(2), 74-83, 2023.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

AHUDUDU ÇEŞİTLERİNİN TÜRKİYE'DEKİ ADAPTASYON DURUMU

Öğr. Gör. Dr. Selcan ÖZYALIN
Yozgat Bozok Üniversitesi,
selcan.ozyalin@yobu.edu.tr - 0000-0003-4831-8600

Doç. Dr. Servet ARAS
Yozgat Bozok Üniversitesi,
servet.aras@yobu.edu.tr - 0000-0002-0347-6552

Doç. Dr. Murat GÜNEY
Yozgat Bozok Üniversitesi,
murat.guney@yobu.edu.tr - 0000-0003-2882-8347

Doç. Dr. Müjgan GÜNEY
Yozgat Bozok Üniversitesi,
mujgan.guney@yobu.edu.tr - 0000-0001-5491-1430

ÖZET

Türkiye'nin farklı ekolojik bölgelerde yürütülen çalışmalar, ahududunun (*Rubus idaeus* L.) geniş bir uyum yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Ülkenin değişken iklim özellikleri dikkate alındığında, çeşitlerin bölgesel adaptasyon performanslarının belirlenmesi hem yetiştiricilik stratejilerinin geliştirilmesi hem de sürdürülebilir üretim modellerinin oluşturulması açısından önem taşımaktadır. Literatürde yer alan araştırmalar; Kahramanmaraş, Çorum, Yozgat, Erzurum-Oltu, Ankara-Ayaş, Bilecik ve Adana gibi farklı bölgelerde yürütülmüş olup, fenolojik gelişim, büyüme, verim ve meyve kalite parametreleri üzerinden adaptasyon yeteneklerini değerlendirmiştir. Bu çalışmalar, yaygın olarak yetiştirilen Heritage, Rubin (Ruby), Aksu Pembesi (Aksu Kırmızısı), Hollanda Boduru, Canby ve Tulameen gibi çeşitlerin farklı ekolojik koşullar altında değişken performanslar sergilediğini ortaya koymaktadır. Genel olarak, ılıman ve serin iklim bölgelerinde verim ve kalite değerlerinin daha yüksek olduğu, sıcak iklimlerde ise özellikle organik ve örtü altı yetiştiricilik koşullarının çeşitlerin uyum kabiliyetini artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca son yıllarda yürütülen fiziksel–kimyasal analiz çalışmaları ile genetik çeşitlilik araştırmaları, adaptasyon değerlendirmelerine tamamlayıcı nitelikte veriler sunmaktadır. Bu derleme niteliğindeki çalışma, Türkiye'de ahududunun bölgesel adaptasyonuna ilişkin mevcut literatürü bir araya getirerek araştırma boşluklarını ortaya koymakta ve ileride yürütülecek çalışmalar için bilimsel bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ahududu, Adaptasyon, *Rubus idaeus*, Çeşit Performansı, Türkiye Ekolojileri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADAPTATION STATUS OF RASPBERRY CULTIVARS IN TÜRKİYE

Lecturer Dr. Selcan ÖZYALIN
Yozgat Bozok University,
selcan.ozyalin@yobu.edu.tr - 0000-0003-4831-8600

Assoc. Prof. Dr. Servet ARAS
Yozgat Bozok University,
servet.aras@yobu.edu.tr - 0000-0002-0347-6552

Assoc. Prof. Dr. Murat GÜNEY
Yozgat Bozok University,
murat.guney@yobu.edu.tr - 0000-0003-2882-8347

Assoc. Prof. Dr. Müjgan GÜNEY
Yozgat Bozok University,
mujgan.guney@yobu.edu.tr - 0000-0001-5491-1430

ABSTRACT

Studies conducted in different ecological regions of Türkiye demonstrate that raspberry (*Rubus idaeus* L.) possesses broad adaptability. Determining the regional adaptation performances of cultivars is essential for developing cultivation strategies and establishing sustainable production models considering the country's diverse climatic conditions. Research has been conducted in various regions, such as Kahramanmaraş, Çorum, Yozgat, Erzurum-Oltu, Ankara-Ayaş, Bilecik, and Adana, and has evaluated the adaptability of cultivars based on phenological development, growth, yield, and fruit quality parameters. These studies reveal that widely cultivated varieties such as Heritage, Rubin (Ruby), Aksu Pembesi (Aksu Kırmızısı), Hollanda Boduru, Canby, and Tulameen exhibit variable performances across different ecological conditions. Higher yield and fruit quality values have been reported in temperate and cool climate regions, whereas in warmer climates, organic and greenhouse-based cultivation practices have been shown to enhance the adaptation capabilities of certain cultivars. Additionally, recent studies focusing on physical–chemical fruit characteristics and genetic diversity provide complementary data supporting adaptation assessments. This review-based study brings together the existing literature on regional adaptation of raspberry in Türkiye, identifies current research gaps, and aims to provide a scientific basis for future studies.

Keywords: Raspberry, Adaptation, *Rubus idaeus*, Variety Performance, Türkiye Ecologies

1. GİRİŞ

Türkiye'de üzümsü meyvelerin ticari yetiştiriciliği 1970'li yıllarda çilek üretimiyle başlamış, daha sonraki süreçte ABD ve Fransa'dan getirilen frenk üzümü, ahududu ve böğürtlen türleri üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Ahududuya ilişkin ilk araştırma çalışmaları ise Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü'nde yürütülmüştür. 1980'li yılların

sonlarında Bulgaristan göçmenlerinin Bursa ve çevresinde başlattıkları sınırlı ölçekli ahududu üretiminin olumlu sonuçlar vermesi, Türkiye'de bu türün yetiştiriciliğine olan ilgiyi artırmıştır (Ağaoğlu, 2019).

Ahududu (*Rubus idaeus* L.), yüksek besin değeri, aromatik özellikleri ve taze tüketim ile işleme sanayisine yönelik geniş kullanım alanı nedeniyle dünya genelinde önemli küçük meyve türlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Onur, 1996; Pehluvan ve Güleryüz, 2004). Son yıllarda sağlıklı beslenme eğilimlerinin artması, fonksiyonel gıdalara yönelik ilginin yükselmesi ve taze meyve piyasasının çeşitlenmesi, ahududu yetiştiriciliğine olan talebi belirgin şekilde artırmıştır. Bu doğrultuda Türkiye'de de ahududu üretim alanları genişlemekte ve türün ticari önemi her geçen yıl artmaktadır (Erdoğan Bayram vd., 2013; Pehluvan ve Güleryüz, 2004).

Türkiye, farklı iklim özelliklerine sahip geniş bir coğrafyaya yayılmış olup, mikroklima alanların çeşitliliği ile birçok meyve türü için potansiyel bir yetiştiricilik alanı sunmaktadır. Ancak, iklimsel ve çevresel faktörlerdeki bu çeşitlilik, ahududu gibi iklim duyarlılığı yüksek türlerin performansında bölgeden bölgeye önemli farklılıklar ortaya çıkarmaktadır (Ağaoğlu, 2013). Adaptasyon çalışmaları, çeşitlerin belirli ekolojilerdeki verim ve kalite performanslarının belirlenmesi, uygun yetiştirme bölgelerinin tanımlanması ve doğru çeşit-seçim stratejilerinin geliştirilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Türkiye'de ahududu adaptasyonuna yönelik araştırmalar 1996 yılında "Türkiye Üzümsü Meyveler Araştırma Grubu" projesi ile başlamıştır (Ağaoğlu, 2019). Proje kapsamında çalışmalar, Adana, Ankara, Bursa, Erzurum, Hatay, Kahramanmaraş, Ordu, Samsun, Tokat, Van, Tekirdağ, Antalya, Giresun, Isparta, Malatya, Samsun ve Yalova gibi farklı ekolojik bölgelerde yürütülmüştür (Akın, 1996; Pehluvan, 2000; Özdemir, 2001; Atila, 2002; Demirsoy vd., 2007; Aydın, 2008; Pehluvan ve Güleryüz, 2012; Ağaoğlu, 2019). Yapılan çalışmalarda, çeşitlerin fenolojik gelişimleri, vejetatif büyüme özellikleri, verim düzeyleri ve meyve kalite parametreleri değerlendirilmiştir. Aynı zamanda son yıllarda yürütülen fiziksel–kimyasal kalite analizleri (Ordu vd., 2008; Öztürk Erdem ve Karakoyun, 2023) ile genetik çeşitlilik (Cekic vd., 2018) çalışmalarının da adaptasyon verilerini desteklediği görülmektedir. Bu çalışmalar, Heritage, Canby, Aksu Pembesi (Aksu Kırmızısı), Tulameen, Rubin (Ruby) ve Hollanda Boduru gibi yaygın ticari çeşitlerin ekolojik koşullara göre farklı performanslar ortaya koyduğunu göstermektedir.

Bu derleme çalışması, Türkiye'de yapılan ahududu adaptasyon araştırmalarını kapsamlı bir şekilde ele alarak mevcut bilgi birikimini ortaya koymayı, çeşit performanslarını karşılaştırmalı biçimde değerlendirmeyi ve gelecekte yürütülecek çalışmalar için bilimsel bir temel oluşturmayı amaçlamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'de farklı bölgelerde yürütülen ahududu (*Rubus idaeus* L.) adaptasyon çalışmaları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Türkiye'de ahududu adaptasyonuna yönelik yapılmış çalışmaların özeti

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Yer (Ekoloji)	İncelenen Çeşitler	Değerlendirilen Özellikler	Sonuç	Referans
Erzurum – Oltu	Heritage Canby Rubin Newburg Cola Bursa Boduru Tulameen Summit Hollanda Boduru	Fenolojik, meyve verim ve kalite parametreleri	Elde edilen bulgulara göre, yılda iki ürün veren Heritage, Hollanda Boduru ve Summit çeşitleri ile yılda tek ürün veren Newburg çeşidinin yöre koşullarına diğer çeşitlerden daha iyi uyum sağladığı belirlenmiştir.	Pehluvan, 2000; Pehluvan vd., 2007; Pehluvan ve Güleryüz, 2012
Tokat	Heritage Canby Newburg Cola II Willamette Rubin Aksu Kırmızısı Meeker Bursa Boduru Tulameen Summit Hollanda Boduru	Bitkisel özellikler ile meyve kalitesi	Çalışmada, Willamette, Rubin ve Summit çeşitlerinin bölgeye en iyi uyum sağlayan çeşitler olduğu belirlenmiştir.	Özdemir, 2001; Özdemir Eroğlu ve Gerçekçioğlu, 2007
Ankara – Ayaş	Heritage Canby Newburg Cola II Willamette Rubin Aksu Kırmızısı Meeker Tulameen Summit Hollanda Boduru	Fenoloji, vejetatif gelişim, verim, pomolojik analiz	Çalışma sonuçlarına göre öne çıkan çeşitlerin, Willamette, Tulameen, Summit ve Heritage olduğu ifade edilmiştir.	Atila, 2002; Eyduran vd., 2007; Ağaoğlu vd., 2009
Samsun	Heritage Canby Newburg Cola II Willamette Rubin Aksu Kırmızısı Meeker Tulameen Summit Hollanda Boduru Bursa Boduru	Fenoloji, bitkisel ve pomolojik özellikler	Çalışmada, Heritage ve Canby çeşitlerinin bölgeye uygun olduğu ifade edilmiştir.	Demirsoy vd., 2007
Adana	Heritage Bursa Boduru Tulameen Canby Willamette Rubin	Fenolojik gözlemler, bitkisel ve pomolojik özellikler, verim	Çalışmada, Adana koşullarında ahududu yetiştiriciliğinin bazı çeşitlerde mümkün olmadığı, 2. yıl meyve veren Willamette çeşidinin	Türemiş vd., 2007

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Yer (Ekoloji)	İncelenen Çeşitler	Değerlendirilen Özellikler	Sonuç	Referans
	Newburg Hollanda Boduru Meeker		bölgede ümitvar olduğu bildirilmiştir.	
Isparta-Eğirdir	Heritage Canby Newburg Bursa Boduru Cola II Willamette Rubin Aksu Kırmızısı Meeker Tulameen Summit Hollanda Boduru	Fenoloji, bitkisel ve pomolojik özellikler	Araştırmanın sonucuna göre bölge için Tulameen, Rubin ve Willamette ahududu çeşitleri ön plana çıkmıştır.	Göktaş vd., 2009
Trabzon-Hayrat	Heritage Malling Jevel Canby Willamette Golden Queen Norna Schoneman Tulameen Veten	Fenolojik, bitkisel ve pomolojik	İki yıllık sonuçlara göre Norna, Schoneman ve Willamette en verimli çeşitler olarak belirlenmiştir.	Aydın, 2008; Yıldız, 2011
Kahramanmaraş	Heritage Rubin Aksu Kırmızısı Hollanda Boduru	Fenolojik, morfolojik ve pomolojik	Morfolojik ölçümlerde Heritage, verimde Aksu Kırmızısı ön plana çıkmıştır. Çalışmada, sıcak iklime sahip Kahramanmaraş koşullarında, ahududu yetiştiriciliği için gölgeleme ve malçlama gibi uygulamaların yararlı olabileceği belirtilmiştir.	Ada, 2014; Ada vd., 2014
Çorum	Heritage Canby Rubin Aksu Kırmızısı Tulameen Hollanda Boduru	Fenolojik gözlemler, bitkisel özellikler ile meyve verim ve kalite kriterleri	Çalışmada, Heritage ahududu çeşidinin değerlendirilen kriterler açısından öne çıktığı ve bölge koşulları için uygun bir çeşit olduğu ifade edilmiştir.	Güneş ve Küçükhüseyin, 2019
Yozgat	Heritage Ruby Hollanda Boduru Aksu Kırmızısı	Fenolojik gözlemler, bitkisel özellikler ve bazı meyve kalite kriterleri	Vejetatif gelişim yönünden Aksu Pembesi çeşidinin bölge koşullarına daha hızlı uyum sağladığı belirlenirken, verim ve meyve kalitesi bakımından Heritage çeşidinin diğer	Balcı ve Keles, 2019

Yer (Ekoloji)	İncelenen Çeşitler	Değerlendirilen Özellikler	Sonuç	Referans
			çeşitlerden daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir.	
Kuzey Anadolu (Trabzon, Rize, Ordu, Giresun)	Yerel (Yabani) Genotipler (19 adet)	Genetik çeşitlilik (AFLP, ISSR)	Çalışmada, genetik materyalin bölgesel adaptasyon potansiyelinin yüksek olduğu, yerel genotiplerin ıslah çalışmalarına katkı sağlayabileceği ifade edilmiştir.	Cekic vd., 2018
Bilecik	Heritage Tulameen Canby	Meyvelerin bazı fiziksel özellikleri ile meyve kalitesi parametreleri	Bilecik ekolojisinde yürütülen çalışmada, incelenen morfolojik özellikler ile meyve kalite parametreleri açısından Heritage çeşidinin diğer çeşitlere kıyasla daha üstün performans sergilediği bildirilmiştir.	Öztürk Erdem ve Karakoyun, 2023

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Türkiye'de ahududu yetiştiriciliği farklı ekolojik bölgelerde yürütülen adaptasyon çalışmaları ile giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, iklim koşullarının çeşit performansı üzerinde belirleyici bir faktör olduğu görülmektedir. Özellikle serin ve ılıman iklimlerin hâkim olduğu Ankara–Ayaş, Çorum, Yozgat ve Bilecik gibi bölgelerde çeşitlerin fenolojik gelişimleri düzenli, meyve kalitesi ise güvenilir düzeyde gerçekleşmiştir. Buna karşın Kahramanmaraş ve Adana gibi sıcak ekolojilerde bazı çeşitlerin vejetatif gelişimlerinin sınırlanabildiği, buna rağmen örtü altı veya organik üretim gibi alternatif yetiştiricilik sistemlerinin adaptasyon kabiliyetini artırdığı rapor edilmiştir.

Adaptasyon çalışmalarında en sık kullanılan çeşitlerin Heritage, Aksu Kırmızısı, Tulameen, Willamette, Canby ve Hollanda Boduru olduğu görülmektedir. Çeşitlerin performansları bölgeden bölgeye değişmekle birlikte, Heritage'ın farklı iklimlerde nispeten stabil performans sergilemesi dikkat çekicidir. Bu durum, çeşidin genetik olarak geniş ekolojik toleransa sahip olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Öte yandan, yerel genotiplere yönelik yapılan genetik çeşitlilik çalışmaları, Türkiye'nin farklı bölgelerinde yetişen yabani ahududu popülasyonlarının yüksek adaptasyon potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu genetik materyalin ileride yürütülecek ıslah programları ve adaptasyon çalışmalarında önemli bir kaynak oluşturabileceği düşünülmektedir.

Literatür ayrıca verim ve kaliteyi etkileyen temel parametrelerin; sürgün gelişimi, çiçeklenme zamanı, meyve tutumu, meyve iriliği ve toplam çözünebilir kuru madde olduğunu göstermektedir. Bu parametrelerin değişimi, çevresel farklılıkların çeşitler üzerindeki etkileşimini açıkça ortaya koymaktadır.

Türkiye'de ahududu adaptasyonuna yönelik yapılan çalışmalar, farklı iklim bölgelerinde çeşitlerin performanslarının önemli ölçüde değiştiğini ortaya koymaktadır. Serin ve ılıman iklim bölgeleri birçok çeşit için uygun koşullar sağlarken, sıcak bölgelerde uygun yetiştiricilik tekniklerinin kullanılması adaptasyonu artırmaktadır. Mevcut literatür, özellikle Heritage ve Aksu Kırmızısı gibi çeşitlerin geniş adaptasyon yeteneğine sahip olduğunu, Tulameen ve Canby'nin ise uygun ekolojilerde yüksek meyve kalitesi sunduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, Türkiye'de yürütülmüş adaptasyon çalışmalarını bir araya getirerek ülkenin farklı ekolojilerinde ahududu yetiştiriciliği için bilimsel bir değerlendirme zemini sunmaktadır. Ayrıca yerel genotiplerin değerlendirilmesi, gelecekte yürütülecek ıslah programları ve bölgesel adaptasyon denemeleri için önemli fırsatlar barındırmaktadır. Daha kapsamlı veri toplama çalışmaları ve uzun süreli denemeler ile Türkiye'nin farklı bölgelerinde ahududu yetiştiriciliğinin potansiyeli daha net ortaya konulabilecektir.

KAYNAKÇA

Ada, M., *Bazı ahududu (Rubus idaeus L.) çeşitlerinin Kahramanmaraş koşullarına adaptasyonu,* Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2014.

Ada, M., Ilgın, M., & Ada, M., Bazı ahududu (*Rubus ideaus* L.) çeşitlerinin kahramanmaraş koşullarına adaptasyonu. Bahçe, 45(Özel Sayı 1) 7. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi), 748-752, 2014.

Ağaoğlu, Y. S., Eyduran, S. P., & Eyduran, E., *Ankara (Ayaş) koşullarında yetiştirilen ahududu çeşitlerinin 2000-2006 yılları arasındaki performansları üzerine bir araştırma*. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, KSÜ Basımevi, 126, 2009.

Ağaoğlu, Y. S., I. Bölüm-Giriş. Y. S. Ağaoğlu & R. Gerçekçioğlu (Edi.), *Üzümsü Meyveler* (s. 19-54). Tomurcukbağ Ltd. Şti. Eğitim Yayınları, 2013.

Ağaoğlu, Y. S., Üzümsü Meyvelerin Türkiye'deki Tarihsel Gelişimi. Bahçe, 48(Özel Sayı 1) (6. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu), 1-7, 2019.

Akın, N., *Bursa yöresinde ahududu yetiştiriciliği ve sorunları,* Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 1996.

Atila, S. P., *Bazı ahududu ve böğürtlen çeşitlerinin Ayaş (Ankara) koşullarına adaptasyonu üzerine ön değerlendirmeler,* Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2002.

Aydın, E., *Bazı ahududu ve böğürtlen çeşitlerinin Hayrat (Trabzon) ekolojik koşullarına adaptasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 2008.

Balcı, G., & Keles, H., Bazı ahududu çeşitlerinin Yozgat ekolojisinde adaptasyon yeteneklerinin belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 22(6), 823-829, 2019.

Cekic, C., Çalış, O., & Ozturk Erdem, S., Genetic diversity of wild raspberry genotypes (*Rubus idaeus* L.) in North Anatolia based on ISSR markers. Applied Ecology and Environmental Research, 16(5), 2018.

Demirsoy, L., Demirsoy, H., Bilgener, Ş., Ersoy, B., Öztürk, A., Balcı, G., & Çelikel, G., *Samsun'da Yapılan Ahududu Çeşit Adaptasyon Çalışmaları*. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Nobel Yayın, 205-211, 2007.

Erdoğan Bayram, S., Özeker, E., & Elmacı, Ö. L., Fonksiyonel gıdalar ve çilek. Akademik Gıda, 11(2), 131-137, 2013.

Eyduran, S. P., Ağaoğlu, Y. S., Çelik, M., *Bazı ahududu çeşitlerinin Ayaş (Ankara) koşullarına adaptasyonu üzerine araştırmalar*. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Nobel Yayın, 224-230, 2007.

Göktaş, A., Demirtaş, İ., & Atasay, A., *Bazı ahududu çeşitlerinin Eğirdir (Isparta) yöresine adaptasyonu*. III. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, KSÜ Basımevi, 14(16), 120-125, 2009.

Güneş, M., & Küçükhüseyin, E., Bazı kırmızı ahududu (*Rubus idaeus* L.) çeşitlerinin Çorum ekolojik koşullarına adaptasyonu. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 8(2), 113-122, 2019.

Onur, C., Ahududu yetiştiriciliği. Antalya, Damla Ofset, 1996.

Ordu, I., Burgut, A., & Turemis, N., Growing 'Heritage' red raspberry in greenhouse using organic farming methods in Adana, Turkey. In Workshop on Berry Production in Changing Climate Conditions and Cultivation Systems. COST-Action 863: Euroberry Research: from Genomics to Sustainable Production, Quality and Health, ISHS Acta Horticulturae 838 (Abstract), 2008.

Özdemir Eroğlu, Z., Gerçekçioğlu, R., *İki ürün veren bazı ahududu (R. idaeus L.) çeşitlerinin Tokat koşullarındaki performansları*. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Nobel Yayın, 244-249, 2007.

Özdemir, Z., *Bazı ahududu çeşitlerinin (Rubus idaeus L.) Tokat yöresine adaptasyonu üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 2001.

Öztürk Erdem, S., & Karakoyun, M., Bilecik ekolojisinde yetiştirilen ahududu (*Rubus idaeus* L.) çeşitlerinin bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 13(2), 1356-1362, 2023.

Pehluvan, M., & Güleryüz, M., Ahududu ve böğürtlenlerin insan sağlığı açısından önemi. Bahçe, 33(1-2), 51-57, 2004.

Pehluvan, M., & Güleryüz, M., Bazı ahududu çeşitlerinin (*Rubus ideaus* L.) Oltu (Erzurum) ekolojisine adaptasyonu üzerinde bir araştırma. Alinteri Journal of Agriculture Science, 18(1), 7-13, 2012.

Pehluvan, M., *Bazı ahududu çeşitlerinin Oltu ilçesine adaptasyonu üzerinde bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2000.

Pehluvan, M., Güleryüz, M., & Karlıdağ, H., *Sonbahar ürünü veren (primocane) ahududu çeşitlerinin Yukarı Çoruh vadisine uyumu*. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Nobel Yayın, 250-253, 2007.

Türemiş, N. F., Burğut, A., Iğdırlı, D., Doğan, Y.,& Çalışkan, M., *Bazı ahududu çeşitlerinin Adana koşullarına adaptasyonu*. II. Ulusal Üzümsü Meyveler Sempozyumu, Nobel Yayın, 212-218, 2007.

Yıldız, A., *Hayrat (Trabzon) koşullarında yetiştirilen bazı ahududu ve böğürtlen çeşitlerinin adaptasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 2011.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BROKOLİ MİKRO FİLİZİ YETİŞTİRİCİLİĞİNDE BAZI ÖN UYGULAMALARIN FİZİKSEL KALİTE VE VERİM ÜZERİNE ETKİLERİ

Zir. Yük. Müh. Esra TAYFUR
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı,
esratyfr@hotmail.com - ORCID No: 0009-0009-9307-5311

Doç. Dr. Özlem ÜZAL
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sebze Yetiştiriciliği ve Islahı Anabilim Dalı
ozlemuzal@yyu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-1538-820X

Prof. Dr. Fikret YAŞAR
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sebze Yetiştiriciliği ve Islahı Anabilim Dalı
fyasar@yyu.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-6598-8580

ÖZET

Yapılan çalışmada mikro yeşil üretiminde fiziksel kalite ve verim üzerine tohumlara yapılan ön uygulamaların etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla brokoli tohumlarına farklı ön uygulamaları (Potasyum Nitrat, Kalsiyum Klorür, GA_3, PEG 6000, Hümik asit, Deniz yosunu, Vermikompost çayı, Saf su) yapılmıştır. Çalışmada standart brokoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) tohumları kullanılmıştır. Kontrol olarak ön uygulama (priming) uygulanmayan tohumlar kullanılmıştır. Tohumlar priming çözeltileri içinde 24 saat boyunca 20°C'de inkübatörde şişeler birkaç kez çalkalanarak bekletilmiştir. Süre sonunda tohumlar çeşme suyu altında yıkandıktan sonra, saf suyla durulanarak, fazla suyu alınmıştır. İnkübatörde 22 ^{o}C'de tohum kuru ağırlığı sabit oluncaya kadar kurutma işlemi yapılmıştır. Deneme, tesadüf parselleri deneme desenine göre 3 tekerrürlü her tekerrürde 9 yetiştirme kabı olacak şekilde kurulmuştur. Yetiştirme kaplarına torf yerleştirilerek her bir kaba 1.5 g tohum olacak şekilde ekimleri yapılarak iklim odasında karanlığa alınmıştır. (20±2°C sıcaklık, % 50-60 hava oransal nemi). Ekilen tohumlar çimleninceye kadar üzerleri kağıtla örtülüp saf su ile sulanmıştır. Çimlenme sonrası kağıtlar kaldırılıp ışığa alınarak (16 saat ışık ve 8 saat karanlık, 350 µmol/m^2/s ışık şiddeti) sulanmaya devam edilmiştir. Bitkicikler kotiledon yaprakları tam gelişmiş ve gerçek yaprakları görülmeye başladığı aşama da mikro yeşil bitkicikleri substrat yüzeyinden bir bistüri yardımı ile kesilerek hasat edilmiştir. Mikro filiz gelişim parametreleri ölçülmüştür. $CaCl_2$ ve GA_3 ile yapılan priming işlemlerinin mikro filizlerin gelişimini desteklediği ortaya konmuştur. Humik asit ile gerçekleştirilen priming uygulamasının ise mikro filizlerin verimini yükselttiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Brokoli mikro filizi, priming, verim

1. GİRİŞ

Hızla artan Dünya nüfusuyla birlikte, zor şartlarda ve kısıtlı yapılan tarımsal üretim, sonu gelmeyen tüketimi ne yazık ki yeteri kadar karşılayamamaktadır. Bu kısıtlı tarımsal üretim arzının, artan Dünya nüfusunun tüketim talebini karşılaması için oluşumu binlerce yıl süregelen toprağın her bir karışından istenilen düzeyde yüksek verim almamızın şart olduğu ve tarım ürünlerinde büyük oranda verim kaybına neden olan toprak kökenli patojenleri de göz önünde bulundurmakla birlikte, besin üretiminde içerik yönünden zengin ve kısa üretim yöntemlerine sahip, tüketicilerin sağlık ve uzun ömürlülüğü destekleyen taze ve fonksiyonel gıdalar üretimine olan ilgisini artırmıştır (Aksoy,2020). Günümüzde mikro yeşillikler zengin vitaminler, antioksidanlar, protein, amino asitler vb. yönünden zengin oldukları için fonksiyonel gıda ünvanını kazanmıştır (Xiao ve ark., 2012). Mikro yeşillikler sürgünleri köklerden ayrılarak hasat edilen, genç büyüme evresindeki olgunlaşmamış yenilebilir bitkileri ifade eder (Li ve ark., 2021). Mikro yeşillik yetiştiriciliğinde, hasat döneminde bitkiciklerin eşit boy ve gövde kalınlığına sahip olması istenen bir özelliktir. Verimli bir mikro yeşillik üretimi için, tohumların hızlı, yüksek oranda ve düzenli şekilde çimlenmesi ile bitkilerin erken gelişim evresinde dengeli bir büyüme göstermesi kritik öneme sahiptir.

Priming uygulamaları; başta tohum kalitesini artırarak metabolik aktiviteyi başlatan kökçük çıkışına izin vermeden tohumu çimlenmeye yönelten bir mekanizmadır. Priming uygulamalarının mikro yeşillik üretimindeki temel amaçlarından biri hızlı çimlenme sağlayarak gelişmiş fide elde etmek ve depolama süresince de yaşlanmanın fizyolojik etkilerini mimimize etmektir.

Bu bilgilerden yola çıkarak yapılan çalışmanın amacı mikro yeşil üretiminde fiziksel kalite ve verim üzerine tohumlara yapılan ön uygulamaların etkisinin belirlenmesidir.

2. MATERYAL YÖNTEM

Yapılan bu çalışma, normal atmosferin sağlandığı split klimalı iklim odasında yürütülmüştür. Bu çalışmada Arzuman tohum firmasına ait standart brokoli tohumları kullanılmıştır. Araştırma, mikro yeşillik üretiminde en uygun ve yaygın biçimde tercih edilen topraksız yetiştirme ortamı olan torf üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kullanılan priming çözeltileri ve hazırlanması:

1. Potasyum Nitrat (KNO_3) / osmopriming: %2’ lik
2. Kalsiyum Klorür ($CaCl_2$) / osmopriming: %2‘ lik
3. GA_3 hormonu / hormon priming: 100 ppm
4. PEG 6000 (Polietilen glikol) / osmopriming: -15 bar
5. Hümik asit (Docto-Humate ticari isimli) / organic priming: 0.5 g/L saf su
6. Deniz yosunu gübre (Maxi crop ticari isimli) / organic priming: 2 g/L saf su (Sivritepe, 2000),
7. Vermikompost çayı /organic priming: 50 g/ L saf su (Başay ve Alpsoy, 2019),
8. Saf su ile priming uygulaması / hidropriming
9. Priming yapılmayan (kuru tohum) tohum ekimi kontrol grubunu oluşturmuştur.

Tohumların priming çözeltisinde bekletilmesi için 3 tekerrür olacak şekilde her kavanoza 340 adet (yaklaşık 125 g) tohum eklenmiştir. Tohumların üzerini 2 cm geçecek şekilde priming çözeltisi ile kaplanması sağlanarak her şişeye 80 ml solüsyon eklenmiştir. Tohumların

priming çözeltileri içinde 24 saat boyunca 20°C'de inkübatörde bekletilmesi sağlanmıştır. Tohumların her birinin solüsyonla temas edilmesini sağlamak için şişelerin birkaç kez çalkalanması yapılmıştır.

Tohumlar, 24 saat boyunca priming çözeltisinde bekletildikten sonra süzgeç yardımıyla bol çeşme suyu altında 5 dakika yıkanmış, ardından üç kez saf su ile durulanmış ve kağıt havlu kullanılarak nemi alınmıştır. Tohumların kuru ağırlıkları başlangıçtaki nem seviyelerine ulaşıncaya kadar 22 °C sıcaklığa ayarlanan inkübatörde, kurutma işlemi sürdürülmüştür. İklim odasında, 20 ±2 °C sıcaklıkta, 16 saat aydınlık ve 8 saat karanlık döngüsü altında, gün ışığı spektrumuna sahip lambaların 350 µmol/m²/s ışık şiddeti ve %50–60 bağıl nem koşullarında yetiştirme yapılmıştır. Mikro yeşillik üretiminde 16 × 9 × 7 cm ölçülerinde kaplar kullanılmıştır.

Yetiştirme kaplarına 90 g torf eklenmiş, torf üzerine tohum ekimleri her bir kaba eşit miktarda yapılması için kap başına 1.5 g tohumun homojen bir şeklide yapılmıştır.

Kotiledon yaprak görülünceye kadar saf su ile sulanmıştır. Kotiledon görüldükten hemen sonra bir kez hogland besin solüsyonu sulamada kullanılmıştır. Bitkicikler, kotiledon yaprakları tam gelişmiş ve gerçek yaprakları görülmeye başladığı aşamada iken hasat edilmiştir. Hasat işlemi mikro filizler substrat yüzeyinden bistüri yardımı ile kesilerek yapılmıştır.

Hasat edilen mikro filizlerde bakılan parametreler:

Mikro filiz boyu (cm): Her tekerrürden alınan 10 mikro yeşilde ölçümler yapılmıştır. Bitkicik boyu cetvel ile substrat yüzeyi ile büyüme ucu arasında kalan bölge ölçülmüştür.

Hipokotil boyu (cm): Mikro yeşillerde substrat yüzeyinden kotiledon yapraklarına kadar olan uzunluk belirlenmiştir. Her tekerrürden alınan 10 mikro yeşilde ölçümler yapılmıştır.

Mikro filiz çapı (mm): Her tekerrürden alınan 10 mikro filizde ölçümler yapılmıştır. Kotiledon yaprağın altından kumpas ile ölçülmüştür.

Mikro filiz tek ağırlığı (g/bitki): Hasat edilen filizlerin uygulamaların her tekerrüründen 10 adet mikro filizin ağırlığı 0.00 hassas terazide tartılarak ortalaması hesaplanan tek bir mikro yeşil ağırlığı elde edilmiştir.

Mikro filiz verimi (g/m^2): Hasat edilen mikro filizlerin tamamının taze ağırlıkları alınıp kaydedilmiş ve g/m^2 olarak verim hesaplanmıştır. Hesaplanan verim değerleri priming yapılamayan (kontrol grubu) uygulama ile karşılaştırılmasıyla yüzde (%) ve fark (g) hesaplanarak belirlenmiştir.

Yapraklardaki klorofil konsantrasyonu: Minolta SPAD metre cihazı ile okumalar yapılmıştır.

SÇKM ölçümü: Mikro filizlerin suyu çıkarılmış ve refraktometre yardımı ile ölçülmüştür.

Çalışmadan elde edilen bulgular, Statgraphics istatistik paket programı aracılığıyla varyans analizine tabi tutulmuştur. Denemelerde istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar belirlendiğinde, bu sonuçlar %5 güven düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testiyle gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Mikro yeşillik(filiz) gelişim performansları

Çalışmada ölçülen gelişim parametreleri arasında istatistiksel açıdan önemli ($p<0.05$) farklılıklar bulunmuştur (Çizelge 1).

En yüksek hipokotil boyu $CaCl_2$, GA_3 ve Humik Asit uygulamalarında (sırasıyla 4.11 cm, 4.0 cm, 3,84.cm) en düşük değer ise 3.32 cm ile Saf su ile priming uygulanan mikro filizlerde

belirlenmiştir. Priming yapılmayan kuru tohumla yetiştirilen mikro filizlerde bu değer 3.44 cm, diğer uygulamalarda 3.61 cm ile 4.00 cm arasında değiştiği görülmüştür.

Mikro filiz boyu en düşük uzunlukta olan uygulama, 4.16 cm ile Saf su uygulaması olmuştur. En uzun boy gösteren uygulama ise 4.82 cm ile $CaCl_2$ uygulamasında belirlenmiştir. Kuru tohum (kontrol) mikro filiz boyu 4.17 cm olarak ölçülürken diğer tüm uygulamalar 4.43 ile 4.75 cm arasında birbirlerine yakın değerler göstermişlerdir.

Çizelge 1. Uygulamaların mikro filiz gelişim parametreleri üzerine etkisi

Uygulamalar	**Hipokotil Boyu (cm)**	**Mikro Filiz Boyu (cm)**	**Mikro Filiz Çapı (mm)**	**Mikro Filiz Tek Ağırlığı (g)**
KNO_3	3.76±0.65 bc	4.50±0.75 bc	0.78±0.08 c-e	0.0038±0.0015 a
$CaCl_2$	4.11±0.83 a	4.82±0.48 a	0.88±0.26 ab	0.0039±0.0035 a
GA_3	4.00±0.46 ab	4.75±0.49 ab	0.92±0.07 a	0.0036±0.038 ab
PEG 6000	3.816±0.34 bc	4.65±0.38 a-c	0.74±0.16 e	0.0033±0.017 b
Humik Asit	3.84±0.42 bc	4.75±0.46 ab	0.81±0.08 b-e	0.0035±0.047 ab
Deniz Yosunu	3.73±0.30 bc	4.59±0.33 a-c	0.84±0.11 bc	0.0033±0.009 b
Vermikompost	3.61±0.33 cd	4.43±0.36 c	0.86±0.08 a-c	0.0032±0.018 b
Saf Su	3.32±0.24 e	4.16±0.26 d	0.75±0.12 de	0.0032±0.028 b
Priming Yapılmayan	3.44±0.35 de	4.17±0.35 d	0.81±0.10 b-d	0.0032±0.011 b
Ortalama	3.74±0.52	4.53±0.51	0.82±0.14	0.0034±0.034
p değeri	0.000	0.000	0.051	0.035

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

Mikro filiz çapının en yüksek olduğu uygulama 0.92 mm ile GA_3 uygulaması, en düşük değer ise 0.74 mm ile PEG 6000 grubunda gerçekleşmiş bunu 0.75 mm ile Saf su takip etmiştir. Diğer uygulamalarda ise çaplar 0.78 mm ile 0.88 mm arasında değişmiştir.

Mikro filiz tek ağırlığını incelediğimizde aldığımız en iyi sonucu veren uygulama 0.0039 g ile $CaCl_2$ olmuştur. En düşük veriyi gösteren 0.0032 g ile Vermikompost, saf su ve priming yapılmayan uygulamalar olarak belirlenmiştir. Diğer tüm uygulamalar 0.0033 ile 00.038 g arasında birbirlerine çok yakın değerler göstermişlerdir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

3.2. Mikro Filiz Verimi

Yapılan priming uygulamaları sonucunda mikro filiz veriminde istatistiksel açıdan önemli ($p<0.05$) farklılıklar bulunmuştur (Çizelge 2). En yüksek verim Humik asit uygulamasında (589.5 g/m^2), en düşük değer 408.8 g/m^2 ile priming yapılmayan uygulamasında belirlenmiştir. Diğer uygulamaların verimleri ise 500.1 ile 565.8 g/m^2 arasında değişmiştir.

Çizelge 2. Mikro filiz verimi (g/m^2) üzerine priming uygulamalarının etkileri

Uygulamalar	**Mikro Filiz Verimi (g/m$^{2)}$**	**% Değişim**	**Fark (g)**
KNO_3	565.8±31.61 ab	38.405	157
$CaCl_2$	509.6±28.80 bc	24.657	100.8
GA_3	533.4±25.29 a-c	30.479	124.6
PEG 6000	500.1±60.42 c	22.333	91.3
Humik Asit	589.5±39.17 a	44.202	180.7
Deniz Yosunu	528.0±63.11 bc	29.158	119.2
Vermikompost	526.8±38.76 bc	28.864	118
Saf Su	500.8±51.21 c	22.504	92
Priming Yapılmayan	408.8±80.56 d	0	0
Ortalama	518.089±66.41	37.405	109.289
p değeri	0.000		

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

3.3. Mikro Filizlerin Klorofil (SPAD) ve Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) değerleri

SPAD ve SÇKM değerleri bakımından istatistiksel açıdan farklılıklar önemsiz bulunmuştur ($p<0.05$) (Çizelge 3).

Çizelge 3. Uygulamaların SPAD değerleri ve SÇKM üzerine etkileri

Uygulamalar	**SPAD**	**SÇKM**
KNO_3	51.33±2.44 ab	4.68±0.45 ab
$CaCl_2$	48.48±4.86 ab	4.8±0.66 ab

GA_3	52.68±0.98 a	4.13±0.76 b
PEG 6000	45.66±0.71 b	4.43±0.94 ab
Humik Asit	49.28±3.24 ab	4.76±0.91ab
Deniz Yosunu	48.13±0.63 ab	4.9±0.61 ab
Vermikompost	51.78±7.02 ab	5.06±0.74 ab
Saf Su	51.4±1.50 ab	5.21±1.06 a
Priming Yapılmayan	48.5±0.37 ab	4.7±0.51 ab
Ortalama	49.69±3.45	4.74±0.77
p değeri	1.46	0.41

Aynı sütunda farklı harflerle işaretlenen ortalamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır ($p<0.05$).

En yüksek SPAD değeri GA_3 uygulamasında (52.68), en düşük değer ise kontrol grubu olarak değerlendirdiğimiz priming yapılmayan uygulama (48.5) olarak belirlenmiştir. Diğer uygulamalarda SPAD değerleri 48.13 ile 51.78 arasında değişmiştir.

SÇKM en düşük gösteren 4.13 ile GA_3 uygulaması olmuş bunu 4.43 ile PEG 6000 uygulaması takip etmiştir. En yüksek SÇKM gösteren uygulama ise 5.21 ile Saf su uygulamasında belirlenmiştir. Priming uygulanmayan kontrol grubunun değeri 4.7 olarak belirlenmiş, diğer tüm denemeler ise 4.13 ile 5.21 aralığında birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan priming uygulamalarının tohumların torf ortamında yetişme performanslarının incelenmesi hususunda mikro yeşillik gelişim performansları üzerine etkileri incelenmiş olup, hipokotil boyu, mikro filiz tek ağırlığı ve mikro filiz boyu üzerine en iyi etki gösteren priming uygulamasının $CaCl_2$ olduğu görülmüştür. Priming uygulamalarının tohum çıkışını artırması, tohum çimlenmesi üzerine olumsuz etkileri azaltarak ekim ile çıkış arasındaki zamanı kısaltıp, daha hızlı ve uniform bir bitki çıkışı sağlaması şeklinde açıklama sağlanmıştır (Okçu ve ark., 2005). Mikro filiz çapına yönelik yapılan priming uygulamasında en iyi sonuç ise GA_3 olduğu görülmüştür. Yapılan araştırma verilerine dayanarak gelişim performansları üzerine etki eden priming yöntemlerinin, fidelerde hızlı ve eş zamanlı çimlenmeyi teşvik ettiği ve besin rezervlerinin etkin biçimde kullanılmasına katkı sağladığı sonucuna varılmaktadır. Mikro filiz verimini belirlemek üzere yapılan farklı priming uygulamalarından alınan en iyi sonuç Humik asit olarak bulunmuştur. Bitkisel ve hayvansal kökenli artıklar toprağa karıştığında, zamanla içerdikleri organik maddeler biyolojik ve fizikokimyasal süreçlerin etkisiyle bozulup parçalanır. Bu dokuların organik bölümlerinin parçalanması humifikasyon, inorganik kısımlarının parçalanması ise mineralizasyon olarak adlandırılır. Organik maddelerin humifikasyona uğraması, toprakta yaşayan mikroorganizmaların faaliyetleri sayesinde

gerçekleşir. Bu mikroorganizmalar için en önemli besin kaynağı karbon bileşikleridir. Humifikasyon sürecinin sonunda ortaya çıkan ürün humik asittir. Humik asitler uzun ömürlü organik maddeler olup, katyon değişim kapasiteleri diğer organik gübrelerden daha yüksek olduğundan besin elementlerini güçlü şekilde tutar ve bitkilere aktarır. Böylece doğal ve organik yollarla makro ve mikro besinler, iz elementler, vitaminler ve aminoasitlerin bitkilere ulaşmasında en etkili rolü üstlenir. Humik asitler toprakta, hayvan gübrelerinde, torf yataklarının bulunduğu yerde, denizlerde, linyit kömürde, leonarditte yer almaktadır (Engin ve Cöcen, 2012). Bünyesinde bulunan doğal karbon (%30-36) toprakta yararlı mikroorganizmaların artmasına ve faaliyet sürdürmesine ortam hazırlamaktadır. Organik karbonun oksidasyonu sonunda açığa çıkan enerji bitkinin kök bölgesindeki toprağı ılık tutmaktadır. Bitkinin soğuk ve don zararından etkilenmemesi için direncini ve bulunduğu ortamın organik madde içeriği artırmaktadır. (Ay, 2014). Humik asit uygulamasının hipokotil boyu (cm), mikro filiz tek ağırlığı (g) ve mikro filiz boyu (cm) üzerine yeterli bir etki gösteremediği ancak verime etkisinin arttığına yönelik sonuca varılmıştır. Humik asit, makro ve mikro besin maddeleri takviyesiyle, bitkinin kök bölgesinden uzaklaşmasını engellemektedir. Toprağa uygulanan besin elementlerini alınabilecek forma dönüştürerek, en yüksek düzeyde alınmasını sağlamaktadır. Toprak pH'sını dengeleyerek asidik ve bazik ortamları nötr hale getirir. Bitki gelişimi için gerekli doğal dengeyi sağlar. Kök bölgesinde uygun pH aralığını (5.5–7), organik madde oranını (%4–6) ve mikrobiyal faaliyetleri düzenler. (Ay, 2014). Humik asitin toprağa ve bitki verime yarayışlı olduğunu kanıtlamıştır. Bu tezde humik asit uygulamasının bitkinin verimine katkısının diğer priming uygulamalara göre daha yarayışlı bulunduğunu kanıtlamaktadır.

Çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve gözlemler, mikro filiz/yeşillik üretiminde uygulanan priming yöntemlerinin kritik bir rol oynadığını ve bitkisel verimi kayda değer biçimde yükseltebileceğini ortaya koymuştur.

Brokoli tohumlarına yönelik priming denemeleri sonucunda; humik asit uygulamasının mikro filiz verimini artırmada etkili olduğu, $CaCl_2$ ve GA_3 uygulamalarının ise mikro yeşilliklerin gelişimini destekleyici yönde sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021-9471 No'lu Yüksek Lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Aksoy, Y.C., *Akuaponik Sistemde Brokoli (Brasisica oleraceae* L.*) Fidelerinin Gelişimi ve Su Kalitesine Etkisi (*yüksek lisans tezi). Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çankırı 2020.

Ay, F., Hümik Asit ve Hümik Asit Kaynaklarinin Jeolojik ve Ekonomik Önemi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, 36 (1): 29-44, 2015.

Başay, S., Alpsoy, H.C., 2019. Biber (*Capsicum annuum* L. *var*. Sürmeli) Tohumlarına Yapılan Vermikompost Çayı Ön Uygulamasının Çimlenme Parametreleri ve Fide Kalite Özelliklerine Etkisi. Alatarı, 18(1): 23-29, 2015.

Engin, V. T., Cöcen, E. İ., Leonardit ve humik maddeler. *MT Bilimsel*, (2), 13-20, 2012.

Li, T., Lalk, G.T., Arthur, J.D., Johnson, M.H., Bi, G., Shoot Production and Mineral Nutrients of Five Microgreens as Affected by Hroponic Substrate Type and Post-Emergent Fertilization. Horticulturae. 7 (6):129, 2021.

Okçu, G., Kaya, M.D., Atak, M., Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 29: 237-242, 2005.

Sivritepe, H.Ö., *Deniz Yosunu Ekstraktı (Ascophyllum nodosum) ile Yapılan Ozmotik Koşullandırma Uygulamalarının Biber Tohumlarında Canlılık Üzerine Etkileri*. III. Sebze Tarımı Sempozyumu. 11-13 Eylül 2000, Isparta, 482-486, 2000.

Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., Wang, Q., Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60: 7644–7651, 2012.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DOMATES (*Solanum lycopersicum* L.) FİDELERİNİN MAKRO ELEMENT ALIMINA SİLİSYUM VE POTASYUM UYGULAMALARININ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ramazan PARAN
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı
ramazannpr18@gmail.com - ORCID No: 0009-0008-3381-4576

Doç. Dr. Özlem ÜZAL
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sebze Yetiştiriciliği ve Islahı Anabilim Dalı
ozlemuzal@yyu.edu.tr, ORCID No: 0000-0002-1538-820X

Prof. Dr. Fikret YAŞAR
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Sebze Yetiştiriciliği ve Islahı Anabilim Dalı
fyasar@yyu.edu.tr, ORCID No: 0000-0001-6598-8580

ÖZET

Bu çalışma, potasyum (K) ve silisyum (Si)'un farklı dozlarda uygulamalarının domates fidelerinin yapraklarında makro element alımı üzerine etkilerini belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmada Falcon domates çeşidine ait tohumlar kullanılmıştır. Domates tohumları, torf ve perlit karışımından oluşturulan fide yetiştirme harcı ile doldurulmuş viyollere homojen derinlikte ekilmiştir. Ekim işleminin ardından viyoller, 24±2 °C sıcaklık, 16 saat aydınlatma (450 µmol/m²/s ışık şiddeti), 8 saat karanlık ve %50–60 bağıl nem koşullarına sahip iklim odasında tutulmuştur. Çimlenme süreci boyunca sulama yalnızca saf su ile gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta viyollerin üzeri kağıt ile kapatılmış, çimlenme tamamlandıktan sonra bu örtüler kaldırılmıştır. Gerçek yaprakların oluşumuyla birlikte fideler, ondört farklı besin çözeltisi kullanılarak sulanmıştır. Hazırlanan çözeltilerde N, P, Ca, Mg, S, Fe, B, Cu ve Zn konsantrasyonları sabit tutulmuş; K ve Si ise artan ve azalan oranlarda uygulanmıştır. Fideler dikim aşamasına ulaştığında hasat edilmiş ve makro element analizleri için yaprak örnekleri alınmıştır. Yapraklarda N, P, Ca, K, Mg makro elementlerinin analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları Statgraphics istatistik analiz paket programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre yapılan uygulamaların makro besin elementlerinin yarayışlılıklarını etkilediği ve silisyum uygulamaları ile makro element alımına olumlu yönde etkilerin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Azot, Fide, Kalsiyum, Potasyum, Silisyum

1. GİRİŞ

Günümüzde sebze yetiştiriciliğinde başarı için doğru çeşit seçimi ve kaliteli fide kullanımı kritik bir rol oynamaktadır. Bahçe bitkileri alanında, özellikle küçük arazilerde yoğun girdiyle veya örtü altında yapılan maliyetli üretimlerde, sürece sağlam ve kaliteli tohum ile fideyle başlamak büyük önem taşır. Sebzecilikte fide kullanımı, verimli üretimin temel koşullarından biridir. Birçok sebze türünde üretim fide yetiştiriciliğiyle başlamaktadır. Bunun yanında turfanda üretim ve örtü altı tarımda birçok türün önce fideleri hazırlanmakta, ardından esas yetiştirme alanlarına dikilmektedir. Üreticiler doğrudan tohum ekimi yerine fideyle başladıklarında; arazi, tohum ve enerji tasarrufu sağlamakta, daha sağlıklı ve homojen bitkiler elde etmekte ve erkencilik avantajı kazanmaktadır (Demir, 2007). Kontrollü şartlarda üretilen hazır fideye olan talep, üretici koşullarında fide üretiminin zorluğu nedeniyle günümüzde giderek rağbet görmektedir (Balkaya ve ark., 2015). Günümüzde yoğun tarım (entansif) yetiştiriciliğin yaygınlaşması ve birim alandan maksimum verim alma isteğinin artmasıyla, hazır gübre solüsyonlarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Yapılan bu çalışmada, besin çözeltisine farklı dozlarda silisyum ve potasyum uygulanan domates fidelerinin yapraklarında makro element alımı üzerine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma split klimanın ve ışıklandırmanın (16/8 saat aydınlık/karanlık) olduğu iklim odasında yürütülmüştür. Araştırmada Falcon çeşidine ait domates tohumları kullanılmıştır. Tohumlar, torf ve perlit karışımı içeren viyollere ekilmiş ve çimlenme sürecinde yalnızca saf su ile sulanmıştır. Fidelerde gerçek yapraklar oluşmaya başladığında ise ondört farklı besin çözeltisiyle sulama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan besin solusyonlarında N, P, Mg, S, Ca, Fe, B, Cu ve Zn sabit tutulurken, K ve Si ise artan ve azalan oranlarda uygulanmıştır. Dikim olgunluğunda olan fidelerin orta kısmında bulunan yapraklar alınarak makro element birikimleri belirlenmiştir.

Mineral Element Analizi

Bitkilerin yapraklarından alınan örnekler, –84 °C'de ayarlanmış derin dondurucuya alınmıştır. İyon analizleri için bu dondurucuda saklanan her bir yaprak örneğinden 200 mg alınmış ve üzerine 10 ml 0,1 N nitrik asit (HNO_3) eklenmiştir. Örnekler, kapaklı plastik kaplarda oda sıcaklığında ve karanlıkta bir hafta süreyle bekletildikten sonra çalkalayıcıya aktarılmış ve 24 saat boyunca çalkalanmıştır. Daha sonra süzülerek analiz yapılıncaya kadar süzükler karanlık ve serin bir ortamda bekletilmiştir. K, Ca, Mg içerikleri ise, (Kacar, 1994)'e göre Atomik Absorbsiyon cihazında belirlenmiştir (Taleisnik ve ark., 1997).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 1. Denemede kullanılan besin solüsyonlarının konsantrasyonları (ppm)

Elementler	**Uyg.1**	**Uyg.2**	**Uyg.3**	**Uyg.4**	**Uyg.5**	**Uyg.6**	**Uyg.7**	**Uyg.8**	**Uyg.9**	**Uyg.10**	**Uyg.11**	**Uyg.12**	**Uyg.13**	**Uyg.14**
Azot (N)	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186	186
Fosfor(P)	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02	39.02
Potasyum(K)	**146**	**166**	**186**	**206**	**146**	**166**	**186**	**206**	**146**	**166**	**186**	**206**	**146**	**146**
Magnezyum(Mg)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Kalsiyum(Ca)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Demir(Fe)	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35	8.35
Mangan(Mn)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Bor(B)	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457	0.457
Bakır(Cu)	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
Çinko(Zn)	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
Kükürt (S)	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
Silisyum (Si)	**100**	**200**	**300**	**400**	**400**	**300**	**200**	**100**	**-**	**-**	**-**	**-**	**200**	**300**

Azot analizinde kullanılacak yaprak örnekleri, 70 °C'ye ayarlanmış dijital etüvde sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütme cihazında toz haline getirilmiştir. Nemlenme riskine karşı tekrar etüve konulmuş, ardından desikatöre aktarılmıştır. Nem almalarını önlemek amacıyla örneklerden hızlı bir şekilde 20 mg tartılmıştır (Kacar ve İnal, 2008). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilim uygulama ve araştırma merkezi bünyesinde bulunan Gerhardt Dumatherm cihazı ile azot değeri (%) belirlenmiştir.

Fosfor elementi ise Vanadomolibdofosforik sarı renk yöntemi ile spektrofotometrede belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

2.1. İstatiksel Analizler

Çalışmadan elde edilen bulgular, Statgraphics istatistik paket programı aracılığıyla varyans analizine tabi tutulmuştur. Denemelerde istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar belirlendiğinde, bu sonuçlar %5 güven düzeyinde Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak gruplandırılmıştır.

3. BULGULAR

Çalışma sonunda her bir uygulamadan hasat edilen fide yapraklarında belirlenen makro besin elementleri miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

3.1.Azot (N)

Yapraklarda bulunan azot miktarı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır. En düşük Azot miktarı 2.Uygulamada (%4.721), en yüksek azot miktarı ise 12.Uygulama (%5.854) da ölçülmüştür.

3.2. Fosfor (P)

Yapraklarda bulunan fosfor miktarı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunmaktadır. Yaprak fosfor miktarı bakımından en yüksek değeri 2.Uygulama almışken (%0.232), en düşük değeri 7. Uygulama (%0.122)'da ölçülmüştür.

Potasyum (K)

Yapraklarda bulunan Potasyum miktarı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel anlamda önemli bir farklılıklar vardır. Yaprak potasyum miktarı 1. Uygulamada en düşük (%0.718), en yüksek değer ise sırasıyla 3. ve 4. Uygulamalarda belirlenmiştir (%2.763 ve %2.052).

Kalsiyum (Ca)

Yapraklarda bulunan Kalsiyum miktarı bakımından uygulamalar arasında istatistiksel anlamda önemli bir farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Yapraklarda bulunan en yüksek kalsiyum miktarı 6. uygulamada (%1.753), en düşük değeri ise genel ortalamanın da altında olan 1.Uygulamada (%0.633) belirlenmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 2. Yapraklarda ölçülen makro element miktarları

UYGULAMALAR	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1.	5.154±0.17 CD	0.232±0.77 AB	0.718±0.06 E	0.633±0.08 E	0.55±0.08 E
2.	4.721±0.59 E	0.195±0.05 A	1.683±0.27 C	1.323±0.18 CD	1.130±0.04 A-C
3.	5.605±0.05 A-C	0.177±0.06 A-C	2.176±0.10 A	1.643±0.25 A-C	1.262±0.15 AB
4.	5.601±0.30 A-C	0.145±0.04 D	2.052±0.11 AB	1.421±0.19 A-D	1.122±0.04 A-C
5.	5.347±0.49 B-D	0.136±0.05 D	1.800±0.16 BC	1.57±0.22 A-D	1.226±0.08 AB
6.	5.583±0.15 A-C	0.126±0.01 D	1.785±0.21 BC	1.753±0.36 A	1.203±0.13 AB
7.	5.408±0.02 A-D	0.122±0.03 D	1.612±0.26 C	1.264±0.15 D	1.097±0.19 A-D
8.	5.090±0.14 DE	0.137±0.05 D	1.776±0.36 BC	1.492±0.15 A-D	1.341±0.32 A
9.	5.4±0.07 A-D	0.145±0.04 D	1.645±0.21 C	1.691±0.61 AB	1.300±0.52 A
10.	5.587±0.04 A-C	0.142±0.02 D	1.613±0.23 C	1.268±0.16 D	0.872±0.08 CD
11.	5.596±0.05 A-C	0.122±0.03 D	1.620±0.28 C	1.287±0.23 D	0.844±0.15 D
12.	5.854±0.03 A	0.149±0.02 CD	1.508±0.18 CD	1.369±0.29 B-D	0.988±0.20 B-D
13.	5.657±0.29 AB	0.133±0.05 D	1.811±0.20 BC	1.344±0.15 CD	1.208±0.10 AB
14.	5.502±0.00 A-D	0.124±0.04 D	1.318±0.34 D	1.348±0.17 B-D	1.007±0.23 B-D
Ortalama	5.436±0.34	0.147±0.051	1.651±0.39	1.386±0.35	1.082±0.28
Pdeğeri	0.0006	0.0025	0.0000	0.0000	0.0000

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Magnezyum (Mg)

Yapraklarda bulunan Magnezyum miktarı bakımından istatistiksel anlamda uygulamalar arasında önemli bir farklılıklar bulunmaktadır. Yapraktaki Magnezyum miktarının en düşük olduğu uygulama 1. uygulama (%0.55), en yüksek ölçüldüğü uygulama ise 8. uygulama (%1.341)'dır

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bitkilerin besin maddelerini alımı belirli bir dengeye bağlıdır. Bu denge bozulduğunda, yani elementlerin miktarı aşırı artar ya da azalırsa, bitkinin gelişimi olumsuz etkilenir. Dolayısıyla, besinlerin ortamda fazla bulunması her zaman bitkiye fayda sağlamaz. Bitki besinlerinin kullanılabilirliği ise; toprak özellikleri, çevresel koşullar ve elementler arasındaki etkileşimler gibi birçok faktör tarafından şekillendirilir. Bitkinin en iyi gelişminin sağlandığı uygulanan dozun bitkideki etkilerinin denenmesiyle en uygun dozun tespiti yapılabilmektedir. Çalışmada en iyi gelişim gösteren bitkilerin sırasıyla 14. (300 ppm Si,146 ppm K), 2. (200 ppm Si, 166 ppm K), 5. (400 ppm Si, 146 ppm K), 11. (Silisyum ilavesiz, 186 ppm K) uygulamalarda olduğu yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiş olup, özellikle 14. uygulamanın yaprakta Ca/K oranının üzerinde diğer uygulamaların ise 1'e yakın olduğu görülmektedir. (Torun, 2003)'un hıyar bitkisinde yaptığı çalışmada en iyi gelişimi gösteren bitkilerin Ca/K oranının 1'e yakın olan uygulamalar olduğunu tespit etmiştir. Bizim çalışmamızın sonuçları bu çalışmayla paralel çıkmıştır.

Ayrıca K alımının en yüksek olduğu uygulamalar (3. ve 4. uygulama) potasyum+ silisyum uygulamamalarının en yüksek uygulandığı iki dozun olduğu görülmektedir. Sadece potasyumun yüksek doz uygulamalarında (11. ve 12. uygulama) aynı durumun gerçekleşmemiş olması silisyumun potasyum alımı üzerine olumlu etkisi olduğunu göstermektedir.

Magnezyumun diğer katyonlar ile rekabeti K > NH4 > Ca > Na sırasıyla olur ve onun en önemli rakibii potasyumdur (Barker ve Pilbeam, 2015). Magnezyumun sınırı 10., 11., 12. uygulamalardan itibaren azalma göstermesi yarayışlılık sınırının bu uygulamalarda düşmeye başladığının işaretidir. Buradaki sonuç potasyumun magnezyumu baskılamasının en etkileyici faktör olabileceğini düşündürmektedir. Silisyum ile birlikte artan potasyum uygulamalarının Mg alımını baskılamadığı dikkati çekmektedir. Ölçülen tüm değerler göz önüne alındığında 8., 9., 4. ve 13. Uygulamalarının Mg alımı en yüksek olan uygulamalar olduğu bu uygulamaların Silisyum uygulanan veya silisyum eklenmemiş fakat potasyumu en düşük dozda uyguladığımız bitkilerde ölçüldüğü dikkati çekmektedir.

Potasyum uygulamalarının azotun etkinliğini artırdığının bilgisi (Kacar, 2005) tarafından verilmiştir. Yaptığımız çalışmada da en yüksek dozda potasyum uygulanan ve silisyumun ilavesiz uygulama olan 12. Uygulamanın yapıldığı bitkilerin yapraklarında azot miktarının yüksek çıktığı görülmektedir. Elde ettiğimiz bulgular bu bilgiyi destekler niteliktedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Van YYÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2021-9474 No'lu Yüksek Lisans projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Balkaya, A., Kandemir, D., Sarıbaş, Ş., Türkiye sebze fidesi üretimindeki son gelişmeler. TÜRKTOB Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi, 4(13), 4-8, 2015.

Barker, A. V, Pilbeam, D. J., Handbook of plant nutrition. CRC press.,2015.

Demir, H. (2007). Ülkemizde sebze fideciliği, sorunları ve çözüm önerileri. *Hasad Bitkisel Üretim Dergisi*, 263, 68-74, 2007.

Kacar, B., Functions and effects of potassium on plant quality. Workshop on the importance and place of potassium in agriculture. Eskişehir, 2005.

Kacar, B, İnal, A., Bitki Analizleri. Nobel Yayın No: 1241. Fen Bilimleri, 63(1), 2008.

Taleisnik, E., Peyrano, G., Arias, C., Response of Chloris gayana cultivars to salinity. 1. Germination and early vegetative growth. *Tropical Grasslands*, 31, 232-240, 1997.

Torun, Y., *Salatalık (Cucumis sativus l.) Fide Gelişiminde İdeal İyon Konsantrasyonlarının ve Alım Mekanizmalarının Belirlenmesi*, MÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DİFLUBENZURONUN KRONİK MARUZİYETİNİN *Daphnia magna* ÜZERİNDEKİ EKOTOKSİKOLOJİK ETKİLERİ

Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ

Munzur Üniversitesi,

yelizcakir@munzur.edu.tr- 0000-0003-1905-5506

ÖZET

Tarım ve vektör kontrolünde yaygın olarak kullanılan Diflubenzuron (DFB), çevrede kalıcılığı ve sucul organizmalar üzerindeki potansiyel etkileri nedeniyle ekotoksikolojik açıdan önemli bir bileşiktir. Bu tür pestisitler, sucul sistemlerde uzun süre düşük konsantrasyonlarda kalabilmekte ve sucul yaşam üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, 21 günlük kronik maruz kalma süresi boyunca çevresel olarak anlamlı konsantrasyonlarda DFB'nin tatlı su kabuklusu *Daphnia magna* üzerindeki toksik etkileri değerlendirilmiştir. *D. magna*, tatlı su ekosistemlerinde önemli bir gösterge türü olup sucul besin ağında kritik bir rol oynamaktadır. Çalışmada DFB için EC_{50} değeri 52,80 ng L^{-1} olarak bulunmuştur. DFB'ye maruz kalma, *D. magna* da antioksidan enzim aktiviteleri ile lipit peroksidasyon düzeylerinde belirgin artışlara yol açmıştır. Bu bulgular, DFB'nin oksidatif stres mekanizmalarını tetiklediğini ve hücresel düzeyde hasar oluşturduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, çevresel düzeylerdeki DFB kirliliğinin sucul ekosistemlerde kronik toksisite riski oluşturabileceğini ortaya koymakta ve bu bileşiğin ekotoksikolojik izlenmesinin çevresel yönetim politikaları açısından önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Diflubenzuron; *Daphnia magna*; kronik toksisite; antioksidan enzimler

GİRİŞ

Pestisitler, modern tarım sistemlerinde zararlı organizmaların kontrolünde vazgeçilmez bir rol oynamakta ve küresel ölçekte kullanımları giderek artmaktadır (Sharma ve ark., 2019). Bununla birlikte, bu kimyasallar doğrudan uygulama veya tarımsal drenaj yoluyla sucul ortamlara taşınarak ekosistemlerde ciddi kirlilik sorunlarına yol açmaktadır (Jabali ve ark., 2020; Sánchez-Bayo, 2011). Pestisit kirliliği, özellikle eski depolama alanlarından sızmalar ve yüzey akışıyla taşınma sonucu tatlı su kaynaklarında kalıcı hale gelmekte, bu durum hem ekosistem hem de insan sağlığı için önemli bir risk oluşturmaktadır (Abbasov ve ark., 2019; Tang ve ark., 2021). Kalıcı organik kirleticilerin yasaklanmasına rağmen, DDT gibi pestisitlerin halen çevresel ortamlarda tespit edilmesi bu durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır (Landrigan ve ark., 2018). Farklı bölgelerde yapılan çalışmalar, pestisitlerin sucul ortamlarda mikro ila miligram düzeylerinde değişen konsantrasyonlarda bulunduğunu göstermiştir (Singh ve ark., 2023). Pestisit maruziyeti; ölüm oranlarında artış, oksidatif stres, fizyolojik bozukluklar ve histopatolojik hasarlar gibi çok yönlü toksik etkiler oluşturabilmektedir (Belaid ve Sbartai, 2021; Pavlaki ve ark., 2011; Qi ve ark., 2018; Souza ve ark., 2011).

DFB, böceklerin kitin sentezini engelleyerek gelişimlerini durduran bir benzoylüre türevidir (Mulder ve Gijswijt, 1973; Sánchez-Bayo, 2011). Tarım ve vektör kontrolünde yaygın olarak

kullanılan DFB, özellikle balık yetiştiriciliği uygulamalarında ve sivrisinek popülasyonlarının kontrolünde sıkça tercih edilmektedir (Jonsson ve ark., 2015; Porretta ve ark., 2019). DFB'nin suda çözünürlüğü 93 ± 4 µg L^{-1} olarak bildirilmiş olup (Marsella ve ark., 2000), bu özellik onun çevresel stabilitesini ve kalıcılığını desteklemektedir. Sıcaklık ve pH koşullarına bağlı olarak suda birkaç gün içinde bozunabilse de, deniz ortamlarında 200 günden fazla süreyle varlığını sürdürebilmektedir (Selvik ve ark., 2002). Norveç kıyılarında 295,2 ng L^{-1} seviyesine kadar DFB tespit edilmiştir (Langford ve ark., 2014). Bu durum, bileşiğin uzun süreli çevresel varlığı nedeniyle sucul organizmalar üzerinde potansiyel ekotoksikolojik riskler oluşturduğunu göstermektedir (Teixeira ve ark., 2024; Serradj ve ark., 2022).

Önceki araştırmalar, DFB'nin balıklar, kabuklular ve planktonik türler üzerinde hem akut hem de kronik etkiler oluşturduğunu ortaya koymuştur (Abe ve ark., 2019; Qiao ve ark., 2023; Huang ve ark., 2023). DFB maruziyeti, sucul organizmalarda büyüme ve üreme performansını düşürmekte, antioksidan savunma sistemini bozmakta ve dokularda histopatolojik hasarlara neden olmaktadır. Bununla birlikte, çevresel olarak düşük konsantrasyonlarda DFB'nin uzun vadeli etkilerine ilişkin veriler hâlâ sınırlıdır.

Bu nedenle, bu çalışma, tatlı su ekosistemlerinin önemli bir gösterge organizması olan *D. magna* üzerinde çevresel konsantrasyonlarda Diflubenzuron'un 21 günlük kronik maruziyet süresince oluşturduğu hücresel ve fizyolojik etkileri değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışmamızda kullanılan Daphnia örnekleri Elazığ ilinde bulunan yerel akvaryumculardan temin edildi. Laboratuvar ortamına getirilen test canlılarına 15 günlük adaptasyon süresi uygulanarak spontan ölümler en alt düzeye indirildi. Canlıların yaşamsal faaliyetlerinde herhangi bir aksama olmaması için rutin olarak yemlemeleri yapıldı ve ayrıca fotoperiyot fotoperiyot (16: 8 saat ışık / karanlık) (20 ± 2 ° C) uygulandı.

DFB, Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Akut ve kronik maruziyet deneyleri için farklı konsantrasyonlarda çözeltiler, kılavuzlarda belirtilen ortamlara uygun olarak hazırlanmıştır. İlk olarak, %100 metanol içinde 2 mg L^{-1} konsantrasyonunda bir stok çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltinin homojen dağılması için yaklaşık 2 saat boyunca koyu renkli cam şişede manyetik karıştırıcı ile karıştırılmıştır. Bu ana stoktan, akut toksisite deneyleri için ISO ortamı kullanılarak 200 ng L^{-1}'lik; kronik toksisite deneyleri için ise M4 ortamı kullanılarak 1000 ng L^{-1}'lik ara stok çözeltileri hazırlanmıştır. Daha sonra aşağıdaki test konsantrasyonları elde edilmiştir:

- Akut toksisite : 6,25; 12,5; 25; 50; 100 ve 200 ng L^{-1}
- Kronik toksisite: 1; 3; 5; 8 ve 10 ng L^{-1}

Hazırlanan tüm çözeltiler homojen şekilde karıştırılmıştır. Nihai çözeltilerdeki metanol oranı akut toksisitede %0,01, Kronik toksitite ortamında ise %0,001 düzeyinde tutulmuştur. Kronik maruziyet deneylerinde kullanılan nominal konsantrasyonlar (1–10 ng L^{-1}), akut toksisite çalışmasında belirlenen EC_{50} değeri (52,80 ng L^{-1}) temel alınarak seçilmiş; böylece akut mortalite oluşturmayacak ancak subletal etkilerin gözlemlenmesini sağlayacak şekilde optimize edilmiştir.

OKSİDATİF STRES ANALİZİ

Oksidatif stres yanıtı, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve lipit peroksidasyonu (LPO) gibi hücresel hasar göstergeleri üzerinden değerlendirildi. Dondurulmuş numuneler PBS tamponu içinde homojenleştirildi ve 4 °C'de 15 dakika boyunca 16.000 × g'de santrifüj edildi. Elde edilen süpernatantlar analizlerde kullanıldı. Tüm ölçümler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi.

SOD ve CAT aktiviteleri, Luangrath ve ark. (2024) yöntemine göre belirlendi.

- SOD aktivitesi, Misra ve Fridovich (1972) protokolüne göre 480 nm'de ölçüldü; ölçümler 30. saniye ve 5. dakikada alınan absorbans farkına dayanarak protein başına SOD aktivitesi olarak ifade edildi.
- CAT aktivitesi, Radi ve ark. (1991) yöntemine göre 240 nm'de H_2O_2 parçalanma hızına dayanarak hesaplandı ve protein başına mM H_2O_2 olarak ifade edildi.

LPO düzeyleri, Na ve ark. (2021a) protokolüne göre TBA yöntemiyle ölçüldü. Süpernatantlar TCA–TBA reaktifi ile karıştırıldı, 37 °C'de 30 dakika inkübe edildi ve ardından 45 dakika kaynar suda inkübe edildi. Süpernatanın absorbansı 535 nm'de ölçüldü. LPO sonuçları, 156 molar sönüm katsayısı (εmM) kullanılarak malondialdehit (MDA) eşdeğerleri cinsinden ifade edildi.

SONUÇLAR

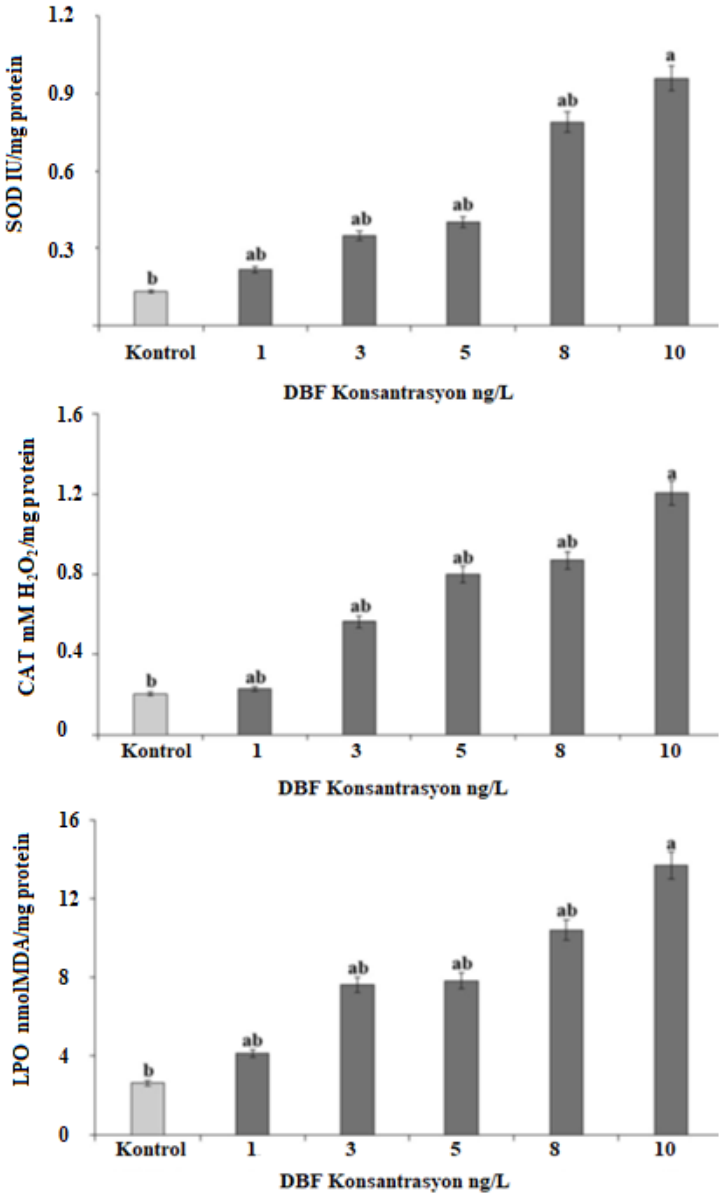
Antioksidan enzim SOD, aşırı reaktif oksijen türleri (ROS), özellikle süperoksit radikallerini ortadan kaldırmada kritik bir rol oynamaktadır (Liu ve ark., 2018). Çeşitli toksik bileşiklerin neden olduğu oksidatif stres, genellikle antioksidan enzimlerin aktivasyonunu içeren bir hücresel savunma tepkisini tetikler.

Maruziyet sonunda, SOD aktivitesi DFB konsantrasyonu arttıkça anlamlı şekilde yükselmiştir ($p < 0,05$) (Şekil 1). Bu artış, pestisit kaynaklı oksidatif strese karşı gelişen savunma mekanizmasını göstermektedir. SOD, süperoksit radikallerini hidrojen peroksit (H_2O_2) ve oksijene dönüştürerek ROS düzeylerinin dengelenmesine yardımcı olur (Mao ve ark., 1993; Ighodaro ve Akinloye, 2018). Benzer şekilde, Ghelichpour ve ark. (2020) lufenuron maruziyeti sonucunda sazan balığında, Zhang ve ark. (2023) ise dinotefuran maruziyetinde *D. magna*'da SOD aktivitesinde artış bildirmiştir. Bu bulgular, böcek gelişim düzenleyicilerinin kitin sentezini engellemenin yanı sıra oksidatif stres mekanizmalarını da tetikleyebildiğini göstermektedir.

Katalaz, hücreleri oksidatif hasardan koruyarak H_2O_2'yi su ve oksijene dönüştüren temel bir enzimdir (Halliwell ve Gutteridge, 2015). DFB konsantrasyonu arttıkça, 1–10 ng L^{-1} aralığında CAT aktivitesinde anlamlı artış saptanmıştır (Şekil 1). Bu artış, DFB'nin neden olduğu yüksek ROS düzeylerine karşı verilen biyokimyasal savunmayı yansıtmaktadır. Daha önce yapılan çalışmalar da benzer sonuçlar ortaya koymuştur (Belaid ve Sbartai, 2021; Dantzger ve ark., 2018; Paravani ve ark., 2018). Bu durum, DFB'nin antioksidan sistemi aktive ederek hücresel koruma yanıtını uyardığını göstermektedir. Ancak yüksek DFB konsantrasyonlarında bu mekanizma aşırı yüklenebilir ve sürekli oksidatif stres durumuna yol açabilir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Lipit peroksidasyonu düzeylerinde, tüm gruplarda kontrol grubuna göre anlamlı artış gözlenmiştir ($p < 0,05$) , (Şekil 1). LPO, ROS'un çoklu doymamış yağ asitlerine saldırmasıyla hücre zarında hasar oluşumuna neden olur. Bu süreçte, ROS lipitleri okside ederek MDA gibi zararlı yan ürünler oluşturur ve bunlar da hücresel bütünlüğü bozabilir (Na ve ark., 2021a; Luangrath ve ark., 2024). Benze ve ark. (2016) de *Prochilodus lineatus* balığında DFB maruziyeti sonrası LPO düzeylerinde benzer artışlar bildirmiştir. Bu bulgular, DFB'nin *D. magna*'da oksidatif stres ve hücresel hasar mekanizmalarını açık biçimde tetiklediğini göstermektedir.



Şekil 1. 21 gün boyunca 1, 3, 5, 8 ve 10 ng L^{-1} DFB konsantrasyonlarına maruz kaldıktan sonra *D. magna*'da oksidatif stres tepkileri. SOD, CAT ve LPO. Tüm veriler ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir. Küçük harfler, tek yönlü ANOVA ve ardından Tukey'in HSD post-hoc testi ile belirlenen kontrol ve gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları ($p < 0,05$) göstermektedir.

TARTIŞMA

Bu araştırma, çevresel olarak anlamlı konsantrasyonlarda DFB *D.magna* üzerindeki kronik toksik etkilerini kapsamlı biçimde ortaya koymuştur. Bulgular, DFB'nin yüksek akut toksisite potansiyeline sahip olmasının yanı sıra düşük konsantrasyonlarda bile subletal etkiler oluşturabileceğini göstermektedir. Özellikle, DFB maruziyeti sonucunda SOD ve CAT enzim aktivitelerinde artış ve lipit peroksidasyon düzeylerinde yükselme, oksidatif stresin bu tür üzerindeki temel toksik mekanizma olduğunu ortaya koymuştur.

Bu sonuçlar, literatürde bildirilen önceki çalışmalarla uyumluluk göstermektedir (Belaid ve Sbartai, 2021; Dantzger ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2023). Bulgular, pestisitlerin sadece kitin sentezini inhibe eden bileşikler olarak değil, aynı zamanda oksidatif hasar oluşturabilen çevresel stres faktörleri olarak da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle *D. magna* gibi sucul ekosistemlerin hassas türlerinde gözlenen biyokimyasal değişimler, trofik zincir boyunca dolaylı ekolojik etkiler yaratma potansiyeline sahiptir.

Düşük DFB konsantrasyonlarında dahi gözlenen bu oksidatif yanıtlar, pestisitlerin kronik etkilerinin dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Mevcut mevzuatlarda genellikle akut toksisite verilerine dayalı sınır değerler kullanılmakta, ancak subletal düzeydeki biyokimyasal etkiler göz ardı edilmektedir. Bu nedenle, DFB'nin çevresel risk değerlendirmelerinin aşağıdaki yönlerden geliştirilmesi önerilmektedir:

1. **Çevresel izleme programları** kapsamında DFB ve benzeri pestisitlerin kalıntı düzeylerinin düzenli takibi,
2. **Su kalitesi standartlarının** kronik toksisite verileri dikkate alınarak yeniden belirlenmesi,
3. **Uzun dönemli ekotoksikolojik çalışmaların** (genotoksik, üreme ve davranışsal etkiler dahil) teşvik edilmesi.

Sonuç olarak, bu çalışma DFB'nin sucul omurgasızlarda oksidatif stres temelli kronik toksisite oluşturduğunu açıkça ortaya koymakta ve bu bileşiğin çevresel yönetim politikalarında öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bulgular, sucul ekosistemlerin pestisit kirliliğine karşı duyarlılığını vurgulamakta ve sürdürülebilir çevre yönetimi açısından bilimsel bir referans oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

Abbasov, R., Yildirim, E., & Cevik, M. (2019). Pesticide contamination and its environmental impacts in freshwater systems. Environmental Monitoring and Assessment, 191(6), 371.

Abe, T., Takeda, H., & Matsui, S. (2019). Chronic toxicity of diflubenzuron on aquatic crustaceans and fish. Aquatic Toxicology, 212, 60–68.

Belaid, C., & Sbartai, I. (2021). Effects of thiram pesticide on oxidative stress biomarkers in Daphnia magna. Toxicology Reports, 8, 130–138.

Benze, D. A., Freire, C. A., & Oliveira, R. T. (2016). Oxidative stress response in Prochilodus lineatus exposed to diflubenzuron. Chemosphere, 161, 143–150.

Dantzger, M., Almeida, R., & Silva, C. (2018). Sublethal diflubenzuron exposure induces oxidative stress in Oreochromis niloticus. Environmental Science and Pollution Research, 25(14), 13842–13850. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1601-y

Ghelichpour, M., Mirvaghefi, A., & Alizadeh, M. (2020). Antioxidant responses in common carp (Cyprinus carpio) exposed to lufenuron. Fish Physiology and Biochemistry, 46(1), 257–268. https://doi.org/10.1007/s10695-019-00709-4

Halliwell, B., & Gutteridge, J. M. C. (2015). Free radicals in biology and medicine (5th ed.). Oxford University Press.

Huang, X., Zhang, H., & Liu, Y. (2023). Toxic effects of diflubenzuron on aquatic organisms: A review. Environmental Toxicology and Chemistry, 42(3), 563–576.

Ighodaro, O. M., & Akinloye, O. A. (2018). First line defence antioxidants—Superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid. Alexandria Journal of Medicine, 54(4), 287–293.

Jabali, Y., Hamdaoui, O., & Chiron, S. (2020). Pesticides in surface waters: Sources, occurrence and environmental risks. Environmental Pollution, 266(1), 115201.

Jonsson, C. M., Pereira, D. D., & Faria, M. (2015). Application of diflubenzuron in aquaculture and mosquito control: Environmental implications. Aquaculture Research, 46(8), 1884–1893. https://doi.org/10.1111/are.12344

Langford, K. H., Øxnevad, S., Schøyen, M., & Thomas, K. V. (2014). Do antiparasitic medicines used in aquaculture pose a risk to the Norwegian aquatic environment? Environmental Science & Technology, 48(14), 7774–7780. https://doi.org/10.1021/es500342x

Landrigan, P. J., Fuller, R., & Acosta, N. J. R. (2018). The toxic truth: Environmental pollution and health. The Lancet, 391(10119), 462–512. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0

Liu, X., Xu, Y., & Ma, H. (2018). The role of superoxide dismutase in oxidative stress. BioMed Research International, 2018, 1–12. https://doi.org/10.1155/2018/9128701

Luangrath, K., Thongkum, M., & Somboon, P. (2024). Oxidative stress biomarkers in aquatic invertebrates exposed to environmental pollutants. Ecotoxicology and Environmental Safety, 270, 115603. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.115603

Mao, G. D., Thomas, P. D., Lopaschuk, G. D., & Poznansky, M. J. (1993). Superoxide dismutase catalyzed dismutation of superoxide: Role in cellular protection. Free Radical Biology and Medicine, 14(5), 547–553. https://doi.org/10.1016/0891-5849(93)90148-8

Marsella, M., Cornelissen, S., & Gijswijt, M. (2000). Solubility and environmental behavior of diflubenzuron. Pesticide Science, 56(3), 293–299. https://doi.org/10.1002/ps.1234

Misra, H. P., & Fridovich, I. (1972). The role of superoxide anion in the autoxidation of epinephrine and a simple assay for superoxide dismutase. The Journal of Biological Chemistry, 247(10), 3170–3175.

Mulder, R., & Gijswijt, M. J. (1973). The laboratory evaluation of two promising new insecticides which interfere with cuticle deposition. Pesticide Science, 4(5), 737–745.

Na, S., Li, J., & Chen, Y. (2021a). Lipid peroxidation as a biomarker of oxidative stress in aquatic organisms. Marine Pollution Bulletin, 162, 111854.

Paravani, E., Nunes, B., & Antunes, S. C. (2018). Sublethal effects of cypermethrin on zebrafish (Danio rerio): Oxidative stress and antioxidant responses. Ecotoxicology, 27(4), 485–495.

Pavlaki, M. D., Pereira, R., Loureiro, S., & Soares, A. M. V. M. (2011). Effects of human pharmaceuticals on Daphnia magna: Implications for population and ecosystem health. Environmental Toxicology and Chemistry, 30(4), 885–892.

Porretta, D., Bellini, R., & Urbanelli, S. (2019). Ecotoxicological assessment of diflubenzuron in mosquito control programs. Science of the Total Environment, 648, 265–273.

Qi, X., Wang, C., & Sun, Z. (2018). Toxic effects of pesticides on aquatic invertebrates: A review. Environmental Toxicology and Pharmacology, 59, 12–19.

Qiao, W., Zhang, R., & Liu, X. (2023). Chronic effects of diflubenzuron on reproduction and growth of aquatic organisms. Environmental Pollution, 316, 120553. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.120553

Radi, R., Turrens, J. F., & Freeman, B. A. (1991). Catalase and hydrogen peroxide metabolism in mammalian cells. Free Radical Biology and Medicine, 10(3–4), 221–225. https://doi.org/10.1016/0891-5849(91)90031-5

Sánchez-Bayo, F. (2011). Impacts of agricultural pesticides on terrestrial and aquatic ecosystems. Ecological Impacts of Toxic Chemicals, 2, 63–87.

Selvik, J. R., Johnsen, A. R., & Tollefsen, K. E. (2002). Environmental fate of diflubenzuron in marine systems. Marine Environmental Research, 53(5), 469–478. https://doi.org/10.1016/S0141-1136(01)00208-4

Serradj, N., Benamghar, A., & Taleb, A. (2022). Environmental persistence and toxicity of benzoylurea insecticides in aquatic systems. Environmental Toxicology and Pharmacology, 92, 103861. https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103861

Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S. K., Yadav, P., Bali, A. S., & Ahmad, P. (2019). Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem and human health. Frontiers in Sustainable Food Systems, 3, 8. https://doi.org/10.3389/fsufs.2019.00008

Singh, P., Gupta, R., & Kaushik, A. (2023). Pesticide residues in aquatic environments: Global distribution and risk assessment. Chemosphere, 332, 138749. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138749

Souza, T. S., Torres, J. P. M., & Malm, O. (2011). Toxicological effects of pesticides in aquatic organisms: Mechanisms and biomarkers. Environmental Research, 111(8), 1301–1310. https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.09.002

Tang, J., Zhu, Y., & Wang, Z. (2021). Agricultural runoff as a major source of pesticide pollution in freshwater ecosystems. Environmental Science: Processes & Impacts, 23(3), 388–398. https://doi.org/10.1039/D0EM00423B

Teixeira, C., Gonçalves, S., & Soares, A. (2024). Environmental occurrence and effects of diflubenzuron: An update. Science of the Total Environment, 920, 168449. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.168449

Zhang, Y., Li, H., & Zhao, L. (2023). Oxidative stress and biochemical responses in Daphnia magna exposed to neonicotinoid dinotefuran. Aquatic Toxicology, 259, 106480. https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2023.106480

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ATRAZİN MARUZİYETİNİN *Daphnia magna*'da OKSİDATİF STRES YANITLARI

Doç. Dr. Yeliz ÇAKIR SAHİLLİ
Munzur Üniversitesi,
yelizcakir@munzur.edu.tr- 0000-0003-1905-5506

ÖZET

Pestisit ve herbisitlerin yoğun biçimde kullanılması, uzun süre bozunmadan kalabilmeleri ve canlılar üzerindeki toksik etkileri nedeniyle dünya genelinde ciddi çevresel ve sağlık temelli endişelere yol açmaktadır. Geniş yapraklı yabancı otların kontrolünde yaygın olarak kullanılan sentetik triazin türevi atrazin, hem toprak hem de su ekosistemlerinde sık rastlanan başlıca kirleticilerden biridir. Tarım alanlarında doğrudan bitkiler üzerine uygulanması, atrazinin toprağa karışmasına ve buradan su kaynaklarına taşınmasına neden olmaktadır. Toprakta yüksek kalıcılık göstermesi, özellikle yeraltı sularına doğru taşınma potansiyelini artırarak su kirliliği riskini yükseltmektedir. Atrazin yalnızca hedef yabancı ot türlerini etkilemekle sınırlı kalmamakta; ekosistemdeki birçok canlı üzerinde doğrudan ya da dolaylı olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Bu çalışmada, atrazin uygulamalarının süperoksit dismutaz aktivitesinde artışa neden olduğu, buna karşın katalaz aktivitesinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, çok düşük konsantrasyonlarda dahi atrazinin *Daphnia magna*'da serbest radikal süreçlerini bozabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar kelimeler: Atrazin, *Daphnia magna*, oksidatif stres, toksisite

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. **GİRİŞ**

Dünyada en yaygın kullanılan yabancı ot öldürücü herbisitler arasında Atrazin bulunmaktadır. Bu herbisit güvenliğine ilişkin araştırmalar tartışmalıdır. Atrazin meme, over, rahim kanserleri ile lösemi ve lenfoma gibi hastalıklara yol açabilmektedir (Pathak ve Dikshit, 2011). Ancak, endüstri tarafından sunulan raporlar, bu kimyasalın hedef dışı organizmalara karşı çok düşük toksisite gösterdiğini ileri sürmektedir.

Atrazin beş azot ve bir klor atomu içeren bir triazin halkasından oluşan triazin sınıfı bir herbisittir ve emülsifiye konsantre, suda çözünebilir toz ve granül formunda kullanılır. Atrazin'in çeşitli model organizmalar üzerindeki potansiyel toksisitelerinin araştırılması, bu kimyasalın toksik etkilerini ve organizmaların hayatta kalmayı destekleyen savunma mekanizmalarını anlamaya yardımcı olabilir.

Benzersiz biyolojik özellikleri sayesinde Daphnia, toksikolojik değerlendirmeler için oldukça uygun bir model organizmadır. Daphnia çalışmalarında genellikle öldürücülüğe dayalı toksisite parametreleri kullanılır. Toksisite parametresi LC_{50}, belirli bir süre içinde bireylerin %50'sinin ölümüne neden olan derişimi ifade eder. LC_{50}, öldürücü toksisitenin ilk değerlendirilmesi için tarama yöntemi olarak kullanılabilir (Guilhermino ve ark., 2000). Buna ek olarak, test edilen kimyasalların toksik etkileri, ölümcül olmayan daha düşük derişimlerde enzimatik ve enzimatik olmayan biyobelirteçlerle de değerlendirilebilir. Bazı toksikantlar oksidatif strese yol açabileceğinden, *D. magna*'da glutatyon-S-transferaz, katalaz, süperoksit dismutaz, glutatyon redüktaz (Dionísio ve ark., 2020; Nkoom ve ark., 2019) ve lipid oksidasyon son ürünleri olan tiyobarbitürik asit reaktif maddeleri (Lushchak ve ark., 2004) gibi stres göstergeleri toksisite değerlendirmelerinde kullanılmaktadır.

Atrazin'in oksidatif stres indükleme mekanizmaları iyi tanımlanmıştır. Mitokondriyal oksidatif fosforilasyonun ayrışması, bu herbisitle zehirlenmenin temel etkilerinden biri olabilir (Pathak ve ark., 2011; Peixoto, 2005). Atrazin, membran potansiyelini bozarak ve hücre içi ATP düzeylerini azaltarak mitokondriyal işlev bozukluğu oluşturur (Liu ve ark., 2013).

Bu çalışmanın amacı, Atrazin'in *D. magna*'da hayatta kalma parametreleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Elde edilen veriler, çevresel risk değerlendirmesinin iyileştirilmesine katkı sağlayabilir.

2. **MATERYAL VE METOT**

D. magna Straus, laboratuvarda kültürde tutulmaktadır. Su pireleri, fırıncı mayası (0,25 milyon hücre/L) ile beslenmiş ve suyun yarısı haftada iki kez değiştirilmiştir. Su parametreleri: 20 ± 2 °C, pH 7,6–7,8 ve çözünmüş oksijen 7,2–7,6 mg/L olarak korunmuştur. Fotoperiyot 16 saat aydınlık : 8 saat karanlık şeklindedir.

Deneyler static sistemde, aynı koşullar altında ancak ticari herbisitin eklenmesiyle yürütülmüştür. Atrazin 500 g/L konsantrasyonlarında kullanılmıştır. Yaşları 7–8 gün olan kırk adet organizmadan oluşan gruplar, 3 L'lik cam kaplara yerleştirilmiş ve Atrazin içeren farklı nominal derişimlere maruz bırakılmıştır: 0.1; 0.5; 1 ve 5 µg/L.

Atrazin için LC_{50} değeri (42 mg/L) esas alınarak seçilmiştir. Bu değerler ISO standardına göre belirlenmiştir (OECD, 2004; Olorunsogo ve ark., 1979). Su pireleri 24 saat süreyle muamele edilmiştir (çalışılan derişimlerde mortalite gözlenmemiştir). Ölçülen tüm parametreler en az üç tekrar ile analiz edilmiştir.

Akut toksisite testleri

Tüm deneyler, *D. magna* için 24 ve 48 saatlik LC_{50} değerlerini belirlemeye yönelik standart prosedürlere göre yürütülmüştür (Olorunsogo ve ark., 1979). Su pireleri test süresince beslenmemiştir. Her bir uygulama için yaklaşık 24 saatlik neonatlardan oluşan yirmişer birey, her biri 250 mL test çözeltisi içeren beşli gruplar halinde kullanılmıştır. Sıcaklık ve fotoperiyot yukarıda belirtilen koşullarla aynı tutulmuştur. Çözünmüş oksijen ve pH değerleri 0, 24 ve 48. saatlerde ölçülmüştür.

Yirmi organizmadan oluşan gruplar (her evreden 5 birey içerecek şekilde üç tekrar) Atrazin'in farklı nominal konsantrasyonlarını içeren cam kaplara yerleştirilmiştir:

0.0005; 0.001; 0.005; 0.01; 0.02; 0.03; 0.05; 0.1; 0.5; 1; 3; 5; 10; 30; 50 ve 100 mg/L.

Kontrol grubu aynı koşullarda tutulmuş; ancak suya hiçbir kimyasal eklenmemiştir.

Enzim aktiviteleri ve protein konsantrasyonunun belirlenmesi

Bir birim SOD aktivitesi, kuersetin oksidasyonu reaksiyonunun inhibisyonunu maksimum inhibisyonun %50'si kadar azaltan enzim miktarı (mg protein başına) olarak tanımlanmıştır. SOD aktivitesi için inhibisyon değerleri, bir enzim kinetiği yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Brooks, 1992).

Bir birim (U) katalaz aktivitesi, 1 µmol hidrojen peroksitin dakikada tüketilmesini sağlayan enzim miktarı olarak tanımlanmış ve mg çözünebilir protein başına ifade edilmiştir.

Çözünebilir protein konsantrasyonları, Coomassie mavisi yöntemi kullanılarak ölçülmüş (Bradford, 1976) ve standart olarak sığır serum albümini kullanılmıştır.

İstatistik

Median letal konsantrasyon (LC_{50}) 24 ve 48 saatlik değerleri, ölüm oranı verileri kullanılarak Probit analizi ile hesaplanmıştır (Stephan, 1977). Sonuçlar ortalama ± S.E.M. olarak sunulmuştur. Deney gruplarının kontrol grubu ile karşılaştırılmasında tek yönlü ANOVA ve ardından Dunnett testi uygulanmış; $p < 0.05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

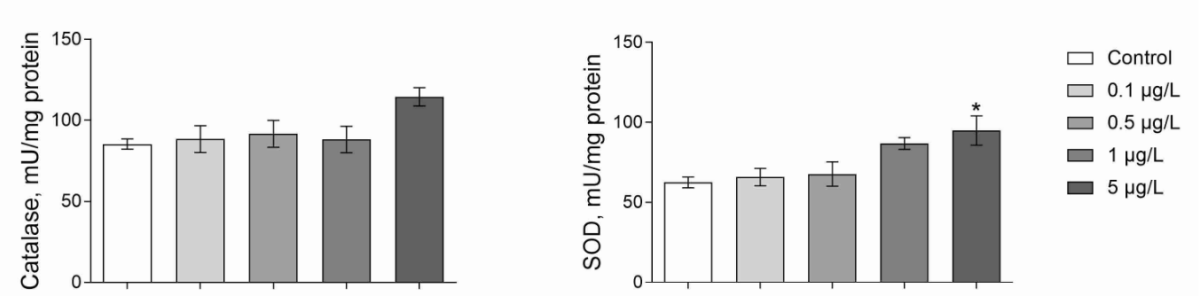
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Antioksidan enzim aktiviteleri

D. magna'da süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz, en önemli antioksidan enzim sistemleri olarak kabul edilir. Atrazin maruziyetinde ise Daphnia'da 1 ve 5 µg/L konsantrasyonlarında SOD aktivitesi sırasıyla %41 ve %49 daha yüksek ölçülmüştür. Atrazin uygulamaları, 0.1–5

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

µg/L aralığında 24 saatlik maruziyet boyunca katalaz aktivitesinde anlamlı bir değişiklik oluşturmamıştır (Şekil 1).



Şekil 1: Atrazin'e 24 saat maruz bırakılan *D. magna*'da CAT ve SOD aktiviteleri. Değerler ortalama ± S.E.M. olarak verilmiştir (n = 3–6). *p < 0.05 düzeyinde anlamlı farklılık (ANOVA ve ardından Dunnett'in çoklu karşılaştırma testleri uygulanmıştır).

TARTIŞMA

Bu çalışma, Atrazin'in sucul omurgasız *Daphnia magna* üzerindeki akut toksik etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, Atrazin maruziyetinde 24 saatlik LC_{50} değeri 42 mg/L, 48 saatlik LC_{50} değeri ise 9 mg/L olarak hesaplanmıştır. Daha önce bildirilen 48 saatlik LC_{50} değerleri, Atrazin için *D. carinata, D. magna* ve *D. pulex* türlerinde sırasıyla 24.6 mg/L, 26.9 mg/L ve 36.5 mg/L olarak rapor edilmiştir (Brooks, 1992; Phyu ve ark., 2004). Bununla birlikte, bu çalışmada 100 mg/L ve 50 mg/L Atrazin derişimlerinde sırasıyla 24 ve 48 saat içinde *Daphnia* populasyonunda tam mortalite gözlenmiş, bu durum yüksek derişimlerde Atrazin'in belirgin akut toksik etki gösterdiğini ortaya koymuştur.

Pestisitlerin toksik etkileri yalnızca mortalite verileriyle sınırlı kalmamakta, aynı zamanda çeşitli biyokimyasal parametreler kullanılarak da değerlendirilebilmektedir. Pestisitlerin oksidatif stresi indükleyebildiği göz önünde bulundurulduğunda, *Daphnia*'da toksisite değerlendirmelerinde oksidatif hasar düzeylerinin incelenmesi önem taşımaktadır. Reaktif oksijen türleri (ROS), proteinler, lipitler ve nükleik asitler dahil olmak üzere hücresel makromoleküllerin büyük bir bölümüne zarar verebilmekte olup, hücresel proteinler ROS saldırısının birincil hedefleri arasında yer almaktadır (Lushchak, 2011). Çeşitli ROS ve türevleri, polipeptit zincirindeki belirli amino asitlerde karbonil grubu oluşumuna yol açarak protein yapısında hasara neden olmaktadır.

Hücresel bileşenlerde meydana gelen oksidatif hasarı sınırlamak amacıyla organizmalar antioksidan savunma sistemleri geliştirmiştir. Süperoksit dismutaz (SOD), reaktif oksijen türlerine karşı birinci savunma hattını oluşturan temel antioksidan enzimlerden biridir ve en yaygın serbest radikallerden biri olan süperoksit anyonunun detoksifikasyonundan sorumludur. Süperoksit radikali (O_2^-•), özellikle mitokondriyal enerji üretimi sırasında sürekli olarak oluştuğundan, SOD aktivitesi hücresel oksidatif stresin önemli bir göstergesi olarak kabul edilmektedir (Lushchak, 2011).

Bu çalışmada, 24 saatlik Atrazin maruziyeti sonucunda *Daphnia*'da SOD aktivitesinin arttığı belirlenmiştir. Artan SOD aktivitesi, herbisit maruziyetinin süperoksit üretimini artırabileceğini ve bunun da SOD aktivitesinde yükselmeye yol açan bir sinyal görevi gördüğünü düşündürmektedir. Bu bulgular, literatürde bildirilen bazı çalışmalarla uyumludur. Nitekim Jin ve arkadaşları, *Danio rerio* balıklarının karaciğerinde 14 günlük Atrazin maruziyeti sonrasında SOD aktivitesinin arttığını raporlamıştır (Jin ve ark., 2010). Benzer şekilde, simazine maruziyetinde sazanın beyin, solungaç, karaciğer ve bağırsak dokularında SOD aktivitesinde değişiklik gözlenmezken, kas dokusunda 14 ve 28 gün sonunda belirgin artışlar bildirilmiştir (Stara ve ark., 2018). Buna karşın Paulino ve arkadaşları, neotropik tatlısu balığı *Prochilodus lineatus*'un solungaçlarında akut Atrazin maruziyetinin SOD aktivitesinde anlamlı bir değişiklik oluşturmadığını belirtmiştir (Paulino ve ark., 2012). Bu farklılıklar, türler arası duyarlılık, maruziyet süresi ve dokuya özgü yanıtların önemini ortaya koymaktadır.

Katalaz, hücresel hidrojen peroksidi su ve oksijene dönüştürerek oksidatif stresi azaltan önemli bir antioksidan enzimdir. SOD aktivitesi sonucu oluşan hidrojen peroksidin nötralizasyonunda rol oynayan katalaz, hücresel yapılarda sürekli bulunan bir bileşen olması nedeniyle ek bir oksidatif stres belirteci olarak değerlendirilmektedir (Bartosz, 2005). Ancak bu çalışmada, 0.1–5 µg/L aralığında 24 saatlik Atrazin maruziyetinin katalaz aktivitesi üzerinde anlamlı bir etki oluşturmadığı belirlenmiştir.

Atrazin maruziyetine bağlı katalaz aktivitesi değişimleri, farklı hayvan modellerinde değişken sonuçlar göstermektedir. Jin ve arkadaşları (2010), 1000 µg/L Atrazin'e 14 gün maruz bırakılan zebrafish karaciğerinde katalaz aktivitesinin arttığını bildirmiştir. Buna karşın Paulino ve arkadaşları (2012), *Prochilodus lineatus* solungaçlarında akut Atrazin maruziyetinde katalaz aktivitesinde herhangi bir değişiklik saptamamıştır. Ayrıca bazı çalışmalarda triazin grubu herbisitlerin katalaz aktivitesini inhibe ettiği belirtilmiştir (Stara ve ark., 2018). Blahová ve arkadaşları (2013) ise Atrazin'e maruz kalan zebrafish'lerde tüm deneysel gruplarda katalaz aktivitesinde belirgin bir düşüş olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, katalaz yanıtının organizmaya, dokuya ve maruziyet koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada gözlenen oksidatif stres indüksiyonu, Atrazin'in *Tigriopus japonicus*'ta oksidatif strese bağlı gerilemeye ve ekdisteroid biyosentez yolunda bozulmaya neden olduğunu bildiren çalışmalarla da desteklenmektedir (Yoon ve ark., 2019). Ayrıca yüksek Atrazin konsantrasyonlarında (20 mg/L) *T. japonicus*'ta hücre içi ROS düzeylerinin belirgin şekilde arttığı gösterilmiştir (Yoon ve ark., 2019). Literatürde yer alan çok sayıda çalışma, Atrazin'in çeşitli sucul organizmalarda oksidatif stres oluşumunu tetiklediğini doğrulamaktadır (Falfushynska & Stolyar, 2009; Jin, 2010; Stara ve ark., 2012).

Sonuç olarak, bu çalışmada antioksidan enzimlerden SOD'un *Daphnia* hücrelerinde oksidatif dengeyi sürdürmede önemli bir rol oynadığı ve 0.1–5 µg/L Atrazin maruziyeti sonrasında oksidatif hasara karşı koruyucu bir yanıt geliştirdiği görülmektedir. Bu bağlamda, antioksidan enzim aktivitelerinde gözlenen değişimlerin, Atrazin kaynaklı stres koşullarına karşı gelişen adaptif mekanizmalar olarak ortaya çıktığı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Bartosz, G. Reactive oxygen species: Destroyers or messengers? *Biochemical Pharmacology*, **77**, 8, 1303–1315, 2005.

Blahová, J., Plhalová, L., Hostovský, M., Divišová, L., Dobsíková, R., Mikulíková, I., Svobodová, Z. Oxidative stress responses in zebrafish (*Danio rerio*) after subchronic exposure to atrazine. *Food and Chemical Toxicology*, **61**, 82–85, 2013.

Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, **72**, 248–254, 1976.

Brooks, S. P. J. A simple computer program with statistical tests for the analysis of enzyme kinetics. *BioTechniques*, **13**, 6, 906–911, 1992.

Falfushynska, H. I., Stolyar, O. B. Oxidative stress responses in freshwater bivalve *Anodonta cygnea* exposed to herbicide atrazine. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **27**, 2, 255–261, 2009.

Jin, Y., Zhang, X., Shu, L., Chen, L., Sun, L., Qian, H., Fu, Z. Oxidative stress response and gene expression with atrazine exposure in adult zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, **78**, 7, 846–852, 2010.

Lushchak, V. I. Environmentally induced oxidative stress in aquatic animals. *Aquatic Toxicology*, **101**, 1, 13–30, 2011.

Pathak, R. K., Dikshit, A. K. Atrazine and human health. *International Journal of Environmental Sciences*, **1**, 7, 1355–1371, 2011.

Paulino, M. G., Sakuragui, M. M., Fernandes, M. N., Chippari-Gomes, A. R. Effects of atrazine on the gills of the freshwater fish *Prochilodus lineatus*: Morphological, biochemical and physiological responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **80**, 6–13, 2012.

Phyu, Y. L., Warne, M. S. J., Lim, R. P. Toxicity and bioaccumulation of atrazine in the freshwater cladoceran *Daphnia carinata*. *Environmental Toxicology*, **19**, 5, 497–502, 2004.

Stara, A., Zuskova, E., Velisek, J., Svobodova, Z. Oxidative stress and antioxidant responses in fish exposed to triazine herbicides. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **84**, 122–128, 2012.

Stara, A., Kristan, J., Zuskova, E., Velisek, J., Svobodova, Z. Effects of triazine herbicides on fish antioxidant systems. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **62**, 1–8, 2018.

Yoon, D. S., Park, J. C., Lee, Y. S., Lee, J. S. Atrazine induces oxidative stress-mediated toxicity and disruption of ecdysteroid biosynthesis in the copepod *Tigriopus japonicus*. *Aquatic Toxicology*, **212**, 1–9, 2019.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KIL KEÇİS OĞLAKLARINDA DOĞUMDAN SÜTTEN KESİME KADAR BÜYÜME VE HAYATTA KALMA DURUMUNUN KANONİK BİPLOT TABANLI RİSK PROFİLİ ANALİZİ

CANONICAL BIPLOT - BASED RISK PROFILING OF EARLY -LIFE GROWTH AND SURVIVAL IN HAIR GOAT KIDS

Doç. Dr. Hatice HIZLI,
Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Adana
haticehizli.bostan@tarimorman.gov.tr - ORCID ID: 000-0002-5451-1397
Dr. Şerife ERGÜL,
Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Adana
serife.ergul@tarimorman.gov.tr - ORCID ID: 0000-0002-6516-8942

ÖZET

Bu çalışma, Kıl keçisi oğlaklarında doğum ağırlığını (DA) etkileyen çevresel ve biyolojik faktörleri incelemiş ve bu faktörleri doğumdan sütten kesime kadar olan yaşama durumu (YD) ile ilişkilendirerek risk profili oluşturmuştur. Araştırmada, 2019 - 2022 yılları arasında Osmaniye ilinde yürütülen "Halk Elinde Küçükbaş Hayvan Islahı Ulusal Projesi" kapsamında doğan 22.122 oğlak verisi kullanılmıştır. Sütten kesim yaşında, oğlaklar Hayatta Kalanlar (n = 19.176) ve Hayatta Kalmayanlar (n = 2.946) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Logaritmik dönüşüm uygulanmış DA verileri, Genel Lineer Model (GLM) ile incelenerek yıl, mevsim, sürü tipi, sürü büyüklüğü, rakım, cinsiyet, doğum tipi ve ana yaşı faktörlerinin YD üzerindeki ana ve etkileşim etkileri belirlenmiştir. Mevsim × YD ve Rakım × YD etkileşimleri dışında tüm faktörler anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$). Sonuçlar, Canonical Biplot analizi kullanılarak faktör düzeyleri ile YD grupları arasındaki ilişkileri görselleştirmiştir. Tekiz doğanlar, erkekler, elit sürüler, yaşlı anneler ve ilkbahar mevsimi Hayatta Kalan vektörü ile, ikiz doğanlar, dişiler, yüksek rakım ve genç anneler ise Hayatta Kalmayan vektörü ile ilişkilendirilmiştir. Bu çalışma, hayatta kalan ve kalamayan oğlakları eşzamanlı değerlendirerek erken yaşam büyüme performansını şekillendiren faktörleri ortaya koyan ilk risk profili çerçevelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca Canonical Biplot analizinin hayvancılık verilerinin uygulandığı araştırmalarda öncü bir uygulamasını sunarak, çok değişkenli desenlerin görselleştirilmesinde ve kanıta dayalı yönetim ile seleksiyon stratejilerinin geliştirilmesinde güçlü bir potansiyel sergilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Kıl Keçisi, yaşama gücü, oğlak ölümü, risk profili, biplot

ABSTRACT

This study investigated the environmental and biological factors affecting birth weight (BW) in Hair goat kids and established a risk profile by relating these factors to survival status (SS) from birth to weaning. Data were collected from 22.122 kids born between 2019 and 2022 under the "National Small Ruminant Breeding Project in Farmers' Hands" in Osmaniye Province, Türkiye. Kids were classified into two groups at weaning: Survivors (n = 19.176) and Non-Survivors (n = 2.946). Log-transformed BW data were analyzed using a General Linear Model

(GLM) to evaluate the main and interaction effects of year, season, herd type, herd size, altitude, sex, birth type, and dam age with SS. All factors were significant ($p < 0.05$) except for Season × SS and Altitude × SS interactions. Canonical Biplot analysis was used to visualize the relationships between factor levels and SS groups. Single births, males, elite herds, older dams, and spring season aligned with the Survivor vector, whereas twin births, females, high altitude, and young dams were associated with the Non-Survivor vector. This study represents one of the first risk-profiling frameworks in small ruminant research by simultaneously evaluating surviving and non-surviving kids to identify factors shaping early-life growth performance. Additionally, it demonstrates the pioneering application of Canonical Biplot analysis in animal production studies, highlighting its potential for visualizing complex multivariate patterns and supporting evidence-based management and selection strategies.

Keywords: Hair Goat, survival, kid mortality, risk profile, biplot

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FİLOGENETİK ANALİZLERDE DNA DEĞİŞİM MODELLERİ

Cemalettin Sefa AYKAÇ
Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
sefa_aykac@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6394-8446

Dr. Oğr. Üyesi Selahaddin KİRAZ
Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
skiraz@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1298-4783

ÖZET

DNA dizilerindeki değişimleri tanımlamak için kullanılan DNA değişim modelleri, filogenetik analizleri etkileyen temel araçlardır. Bu modeller, nükleotidler arasındaki değişim olasılıklarını, baz kompozisyonundaki farklılıkları ve genomik bölgeler arasındaki evrimsel hızlardaki heterojenliği bir araya getirerek mutasyon süreçlerinin gerçekçi bir temsilini sağlar. En basit yaklaşımlardan biri olan Jukes-Cantor modeli, tüm nükleotidler arasında eşit değişim oranlarını varsayarken, Kimura'nın iki parametreli modeli geçiş ve dönüşüm hızları arasındaki dengesizliği hesaba katar. HKY ve Tamura-Nei modelleri gibi daha gelişmiş yaklaşımlar hem eşit olmayan baz frekanslarını hem de geçiş tiplerindeki çeşitliliği bir araya getirir. En kapsamlı çerçevelerden biri olarak kabul edilen GTR modeli, her nükleotid çifti için bağımsız değişim oranlarını tanımlar ve böylece en yüksek düzeyde esneklik sunar. Modeller, sadece mutasyonların sıklığını değil, aynı zamanda geçiş (transition) ve dönüşüm (transversion) oranları, baz frekansları ve konuma bağlı değişim hızlarını da dikkate alarak, genetik çeşitliliğin daha doğru biçimde analiz edilmesine olanak tanır.

Anahtar Kelimeler : DNA değişim, modeller, filogenetik

I. GİRİŞ

Moleküler filogenetik, türler arasındaki evrimsel ilişkilerin DNA dizilerinin istatistiksel analizi yoluyla ortaya konmasını sağlayan modern biyolojinin temel alanlarından biridir [1]. DNA dizilerinde zaman içinde meydana gelen nükleotid değişimleri olasılık temelli modeller çerçevesinde incelenmesi, mekanizmaların doğru şekilde anlaşılmasını mümkün kılar [2]. Bu bağlamda nükleotid substitüsyon modelleri, filogenetik ağaçların güvenilir biçimde tahmin edilmesi, dallanma zamanlarının belirlenmesi ve populasyonlar arasındaki genetik farklılıkların yorumlanması için kritik bir role sahiptir [3].

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Nükleotit düzeyindeki değişim süreçlerini açıklayan substitüsyon modelleri, filogenetik analizlerin temelini oluşturmaktadır. Bu modeller, DNA dizilerinde meydana gelen mutasyonların türünü, hızını ve olasılık dağılımlarını tanımlayarak daha doğru tahminler yapılmasına olanak sağlar.

II. DEĞİŞİM MODELLERİ

Jukes–Cantor (JC) Modeli

Jukes–Cantor (JC) modeli, DNA dizilerindeki nükleotit substitüsyon süreçlerini açıklamak için geliştirilmiş en temel modellerden biridir. Model, tüm nükleotitlerin (A, T, G, C) birbirine eşit olasılıkla dönüşebildiğini varsayar ve bu nedenle yalnızca tek bir substitüsyon oranı (α) içerir [4]. Bu yaklaşımda baz frekanslarının da eşit olduğu kabul edilir ($\pi A = \pi T = \pi G = \pi C = 0.25$), dolayısıyla model hem basit hem de matematiksel olarak çözümlenebilir bir yapıya sahiptir.

JC modeli, gerçek biyolojik verilerde gözlenen geçiş–dönüşüm dengesizliklerini hesaba katmamasına rağmen, evrimsel uzaklıkların temel bir düzeyde tahmini ve diğer, daha karmaşık modellerin değerlendirilmesi için bir referans noktası olarak önemli bir işlev görür. Özellikle kısa dizi karşılaştırmalarında veya düşük varyasyonlu bölgelerde hızlı ve hesaplama açısından verimli sonuçlar sağlar. Bununla birlikte DNA dizilerinin çoğunda geçişlerin dönüşümlere göre daha sık görüldüğü bilinmektedir; bu nedenle JC modeli çoğu durumda biyolojik gerçekliği tam olarak yansıtmaz ve daha gelişmiş modellerin (K2P, HKY, TN93) tercih edilmesi gerekebilir. JC modeli, daha karmaşık modellerin temeli kabul edildiğinden, filogenetik model hiyerarşisinin en alt basamağında yer alır ve substitüsyon süreçlerini anlamak için başlangıç noktası niteliğindedir.

Kimura'nın İki Parametreli (K2P) Modeli

Kimura'nın iki parametreli (K2P) modeli, DNA dizilerindeki nükleotit değişimlerini açıklamak için geliştirilmiş klasik ve güçlü bir substitüsyon modelidir. Jukes–Cantor modelinin basit varsayımlarını genişleten K2P, nükleotit değişimlerini iki kategoriye ayırarak geçişlerin (transitions) ve dönüşümlerin (transversions) farklı hızlarda gerçekleştiğini kabul eder [5]. Bu ayrım, biyolojik verilerde gözlenen doğal mutasyon dinamiklerini daha gerçekçi bir biçimde yansıtır; zira geçiş mutasyonları (A↔G ve C↔T) genellikle dönüşüm mutasyonlarından daha sık meydana gelir.

Model, iki bağımsız parametreye dayanır: geçiş oranı (α) ve dönüşüm oranı (β). Baz frekanslarının eşit olduğu varsayılmaya devam edilse de, geçiş–dönüşüm asimetrisinin hesaba katılması, özellikle mitokondriyal DNA, yüksek mutasyon hızına sahip genom bölgeleri ve yakın akraba türler gibi geçiş baskınlığı görülen dizilerde modelin biyolojik geçerliliğini artırmaktadır. Bununla birlikte, baz bileşiminde belirgin dengesizliklerin bulunduğu veya birden fazla geçiş türünün farklı oranlarla gerçekleştiği durumlarda HKY ve TN93 gibi daha karmaşık modeller daha uygun olabilir. Yine de K2P modeli, hem teorik önemi hem de pratik

kullanımı nedeniyle moleküler filogenetik literatüründe temel referans modellerden biri olmaya devam etmektedir.

Hasegawa–Kishino–Yano (HKY) modeli

Hasegawa–Kishino–Yano (HKY) modeli, nükleotid yer değiştirme süreçlerini daha gerçekçi bir biçimde temsil etmek için geliştirilmiş orta düzey karmaşıklığa sahip bir evrimsel modeldir [6]. Bu model, Kimura'nın iki parametreli (K2P) modelinde olduğu gibi geçişlerin (A↔G, C↔T) transversiyonlara göre daha yüksek bir oranda gerçekleştiğini kabul eder; ancak K2P'den ayrıldığı temel nokta, tüm nükleotidlerin eşit frekansta bulunmadığı varsayımını ortadan kaldırmasıdır. Böylece HKY modeli, hem geçiş/transversiyon oranını (κ) hem de nükleotid baz frekanslarındaki farklılıkları aynı anda hesaba katarak daha biyolojik olarak gerçekçi bir çerçeve sunar. Özellikle mitokondriyal DNA'da ve bazı nükleer gen bölgelerinde gözlenen belirgin baz bileşimi dengesizlikleri düşünüldüğünde, HKY modelinin bu esnekliği filogenetik analizlerin doğruluğunu önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle HKY, filogenetik ağaç oluşturma çalışmalarında sıklıkla tercih edilen modeller arasında yer almaktadır.

Tamura–Nei (TN93) modeli

Tamura–Nei (TN93) modeli, nükleotid değişim süreçlerini daha ayrıntılı biçimde tanımlamak üzere geliştirilmiş, HKY modelinin daha esnek bir versiyonu olarak kabul edilen ileri düzey bir substitüsyon modelidir [7]. TN93 modeli, geçiş oranlarını iki ayrı kategoriye ayırarak—pürinler arası geçişler (A↔G) ve pirimidinler arası geçişler (C↔T)—bu iki geçiş türünün farklı evrimsel hızlara sahip olabileceğini varsayar. Buna ek olarak, model transversiyonlar için tek bir ortak oran kullanır ve nükleotid baz frekanslarının eşit olmadığı gerçeğini de hesaba katar. Dolayısıyla TN93, populasyon genetiği temelli moleküler filogenetik analizlerinde sıklıkla tercih edilen, biyolojik gerçekliği yüksek bir modeldir.

Genel Zaman Tersinir (General Time Reversible; GTR) modeli

Genel Zaman Tersinir (General Time Reversible; GTR) modeli, nükleotit değişim süreçlerini en geniş parametre setiyle tanımlayan ve filogenetik analizlerde sıklıkla tercih edilen bir substitüsyon modelidir. Model, zaman tersinirliği ilkesine dayanır; bu ilkeye göre belirli bir substitüsyon sürecinin ileri ve geri yönde gerçekleşme olasılıkları eşittir. Zaman tersinirliği varsayımı, olasılık hesaplamalarını basitleştirdiği için özellikle maksimum olabilirlik temelli yöntemlerde büyük avantaj sağlar [8].

GTR modeli, dört nükleotit arasında gerçekleşebilecek altı olası değişim türünün her biri için bağımsız bir substitüsyon oranı tanımlar. Böylece model, biyolojik verilerde sıklıkla gözlenen geçiş (transition) ve dönüşüm (transversion) asimetrilerini ayrıntılı biçimde temsil edebilir. Bunun yanında model, nükleotitlerin eşit olmayan denge frekanslarını da hesaba katar [1].

GTR, parametrik esnekliği nedeniyle neredeyse tüm diğer nükleotit değişim modellerini içeren üst bir yapı olarak kabul edilir. Ayrıca GTR modeli, gama dağılımlı hız heterojenliği (+G) ve sabit pozisyon oranı (+I) gibi ek bileşenlerle daha gerçekçi bir evrimsel süreç

tanımlayabilir. Bu ek parametrelerin kullanımı özellikle değişim hızının gen boyunca eşit olmadığı durumlarda model performansını önemli ölçüde artırmaktadır [2].

Bir analizde GTR modelinin kullanımı, model seçim kriterleriyle test edilmelidir. Literatürde yaygın olarak Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesian Bilgi Kriteri (BIC) kullanılmakta; ModelTest veya benzeri yazılımlarla GTR ve diğer modeller karşılaştırılmaktadır [2, 3]. Bu değerlendirme, oluşturulan filogenetik ağacın güvenilirliğini doğrudan etkilediği için analiz sürecinde kritik bir adımdır.

SONUÇ

Sonuç olarak, substitüsyon modelinin seçimi, DNA dizilerinin özelliklerine ve araştırmanın amacına bağlı olarak değişmetedir. Filogenetik ağaçların güvenilirliğini artırmak ve genetik mesafe tahminlerini doğru şekilde yapmak kritik öneme sahiptir. Sonuç olarak, JC'den GTR'ye kadar olan substitüsyon modellerinin anlaşılması, moleküler filogenetik çalışmalar için temel bir gerekliliktir.

KAYNAKLAR

[1] Felsenstein, J. (2004). *Inferring Phylogenies*. Sinauer Associates.

[2] Yang, Z. (1994). Maximum likelihood phylogenetic estimation from DNA sequences with variable rates over sites. *Molecular Biology and Evolution*, 11(2), 316–324.

[3] Posada, D., & Crandall, K. A. (1998). Modeltest: testing the model of DNA substitution. *Bioinformatics*, 14(9), 817–818.

[4] Jukes, T. H., & Cantor, C. R. (1969). Evolution of protein molecules. *Mammalian Protein Metabolism*, 3, 21–132.

[5] Kimura, M. (1980). A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *Journal of Molecular Evolution*, 16, 111–120.

[6] Hasegawa, M., Kishino, H., & Yano, T. (1985). Dating the human–ape splitting by a molecular clock of mitochondrial DNA. *Journal of Molecular Evolution*, 22, 160–174.

[7] Tamura, K., & Nei, M. (1993). Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA. *Molecular Biology and Evolution*, 10(3), 512–526.

[8] Tavaré, S. (1986). Some probabilistic and statistical problems in the analysis of DNA sequences. *Lectures on Mathematics in the Life Sciences*, 17, 57–86.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KOYUNLARDA MOLEKÜLER FİLOGENETİK ANALİZLER

Cemalettin Sefa AYKAÇ
Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
sefa_aykac@hotmail.com, ORCID: 0000-0001-6394-8446

Dr. Oğr. Üyesi Selahaddin KİRAZ
Harran Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, Şanlıurfa-TÜRKİYE
skiraz@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1298-4783

ÖZET

Evcil koyunun (*Ovis aries*) kökeni, Neolitik dönem boyunca Yakın Doğu'nun Verimli Hilal (Fertile Crescent) olarak bilinen bölgesine uzanmaktadır. Arkeozoolojik ve genetik veriler, koyunun bu coğrafyada yaklaşık 8.000–9.000 yıl önce evcilleştirildiğini ve tarımsal üretim sistemlerinin gelişimiyle birlikte hızla geniş bir dağılım alanına ulaştığını göstermektedir. Günümüzde koyun, et, süt, lif ve deri üretiminde değerlendirilen en önemli çiftlik hayvanlarından biri olarak küresel ölçekte yaygın bir yetiştirme sahasına sahiptir. Koyunların kökeni, yayılım örüntüleri ve soy ilişkilerinin aydınlatılmasında moleküler genetik yöntemler kritik rol oynamaktadır. Modern filogenetik analizlerde en sık kullanılan moleküler belirteç mitokondriyal DNA (mtDNA)'dır. Koyun mitokondri genomu; protein kodlayan 13 gen, 2 ribosomal RNA gen bölgesi, kontrol bölgesi (D-loop) ve 22 tRNA bölgelerinden oluşmakta olup, 16640 bp uzunluktadır. mtDNA'nın yalnızca anne hattı üzerinden aktarılması, yüksek mutasyon oranı ve filogenetik olarak bilgilendirici kontrol bölgesine (D-loop) sahip olması, koyun popülasyonlarındaki genetik çeşitliliği çözümlemede güçlü bir avantaj sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Koyun, filogenetik, mtDNA

III. GİRİŞ

Koyun, tarih boyunca insan toplulukları için sürdürülebilir gıda ve hammadde kaynağı olarak önemli bir rol üstlenmiştir. Arkeolojik ve tarihsel bulgular, göçebe toplulukların bile erken dönemlerden itibaren koyunu çeşitli amaçlarla yetiştirdiğini göstermektedir. Bu durum, koyun yetiştiriciliğinin insan kültürü ve ekonomisi açısından merkezi bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır [1].

Evcil koyun (*Ovis aries*), insanlık tarihinin en eski evcilleştirilen hayvan türlerinden biridir. Arkeozoolojik ve paleogenetik çalışmalar, koyunun yaklaşık 8.000–9.000 yıl önce Neolitik dönemde Yakın Doğu'nun Verimli Hilal (Fertile Crescent) bölgesinde evcilleştirildiğini göstermektedir [2].

Mitokondriyal DNA (mtDNA), evcil koyunların kökeni ve maternal soylarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir moleküler belirteçtir. Bu bulgular, evcil koyunların tarihsel evcilleştirme süreçlerini, coğrafi yayılımını ve maternal genetik çeşitliliğini anlamada hem arkeolojik hem de moleküler verilerin kritik önem taşıdığını göstermektedir. Çalışmalar, dünya koyunlarının iki ana haplogruba (A ve B) ayrıldığını, bu haplogrupların tarihsel olarak Asya ve Avrupa popülasyonlarını temsil ettiğini göstermiştir [3]. Daha sonra Yakın Doğu ve çevresinden elde edilen örneklerin analizleri, koyunların evcilleştirilmesinin tek bir kökenden kaynaklanmadığını, farklı coğrafyalardan elde edilen mtDNA dizileriyle yapılan kapsamlı analizler, koyun evcilleştirme ve yayılım sürecinin önceki düşünülenden daha karmaşık olduğunu ortaya çıkarmıştır. DNA verilerini içeren çalışmalar, başlangıçtaki iki temel haplogrupa ek olarak üç yeni haplogrubun (C, D ve E) tanımlanmasıyla genetik yapının önemli ölçüde çeşitlendiğini göstermiştir [4-8].

IV. MİTOKONDRİYAL HAPLOGRUPLAR

Mitokondriyal DNA (mtDNA) analizleri, evcil koyunun (*Ovis aries*) evcilleştirilme süreci, yayılımı ve popülasyon farklılaşmasının anlaşılmasında kritik öneme sahiptir. Modern koyun popülasyonlarında beş ana mtDNA haplogrubu tanımlanmıştır [3-8]. Bu haplogrup çeşitliliği, koyunların tek bir merkezden değil, birbirinden farklı fakat jeografik olarak yakınlık gösteren bölgelerde çoklu evcilleştirme olaylarına veya evcilleştirme sonrası geniş çaplı yabani–evcil gen akışına işaret etmektedir.

Hiendleder ve ark. [3], evcil koyunlar ile çeşitli yabani koyun türleri arasındaki filogenetik ilişkileri incelemek amacıyla mitokondriyal DNA D-loop bölgesinde PCR-RFLP yöntemini kullanmışlardır. Genetik farklılık ve parsimoni analizleri, evcil koyunların iki ayrı kökenden geldiğini desteklemektedir: Bunlardan biri Avrupa evcil koyunlarını kapsayan “Avrupa soyu”, diğeri ise bazı Avrupa ve Orta Asya ırklarını içeren “Asya soyu”dur.

Guo ve ark . [4] ve Pedrosa ve ark. [5] tarafından yürütülen çalışmalar, özellikle Çin, Orta Asya ve Yakın Doğu popülasyonlarında üçüncü bir maternal soyun (mtDNA Haplogrup C) varlığını ortaya çıkarmıştır. Bu bulgu, evcilleştirme sürecinin beklenenden daha karmaşık olduğunu göstermiştir.

Tapio ve ark. [7] tarafından yürütülen geniş ölçekli mitokondriyal DNA analizleri, Baltık ülkeleri, Doğu Avrupa ve Kafkasya’daki yerli koyun popülasyonlarının filogenetik yapısını ortaya koymayı amaçlamıştır. Çalışmada mtDNA D-loop dizileri kullanılarak oluşturulan filogenetik ağaçlar, bilinen A, B ve C haplogruplarına ek olarak Kuzey Kafkasya’ya özgü Karachai koyunlarında daha önce tanımlanmamış dördüncü bir maternal soyun varlığını göstermiştir. Araştırmacılar bu yeni kladı Haplogrup D olarak tanımlamış ve söz konusu soyun, diğer üç haplogruptan (A, B ve C) istatistiksel olarak anlamlı düzeyde ayrılan özgün nükleotid varyantlarına sahip olduğunu bildirmiştir. Haplogrup D’nin sadece Karachai koyunlarında ve oldukça sınırlı bir coğrafi alanda görülmesi, bu soyun muhtemelen bölgesel olarak korunmuş, nadiren aktarılmış ve evcil koyunların tarihsel yayılımındaki yerel populasyon dinamikleri ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Meadows ve ark. [8], Asya ve Avrupa’daki yerli koyun popülasyonlarının mitokondriyal çeşitliliğini değerlendirmek amacıyla yürüttükleri kapsamlı çalışmada, mtDNA D-loop dizilerinden oluşturdukları filogenetik analizlerde bilinen dört maternal haplogrupun (A, B, C

ve D) dışında, beşinci bir maternal soyun, yani Haplogrup E'nin, varlığını ortaya koymuşlardır. Haplogrup E, kendine özgü nükleotid substitüsyonları ve filogenetik ağaçlarda ayrı bir klad oluşturmasıyla diğer haplogruplardan net şekilde ayrılmaktadır. Çalışma, E haplogrubunun özellikle Türkiye'nin doğu kesimlerinde ve kısmen Güneydoğu Anadolu'daki yerli koyun popülasyonlarında düşük frekansta görüldüğünü rapor etmiş; bu soyun varlığının, koyun evcilleştirme sürecinde çoklu merkezler, erken dönem yayılım rotaları ve yerel yabani popülasyonlarla olası gen akışı gibi karmaşık tarihsel süreçleri işaret ettiğini vurgulamıştır [8].

V. FİLOGENETİK ANALİZLER

Evcil koyunlar için A, B, C, D ve E olarak referans haplogruplar (HG A: DQ85228-852287, HG B: DQ852282-DQ852285, HG C: DQ852283- DQ852284, HG D: DQ852288-DQ852289, HG E: DQ852280-DQ852281, [8] birlikte yabani koyunlar mtDNA D-loop gen dizi bilgisi Genbank'tan (NCBI) temin edilerek filogenetik analizler yapılmıştır. Filogenetik analizler; Neighbour-Joining (NJ) [9] metoduna göre Kimura-2-parametre model kullanılarak MEGA 5.0 programında yapılmıştır [10]. Nodların (ağaç kolları) güvenirliği testinde Bootstrap testi (1000 tekrarlı) kullanılmıştır [11].

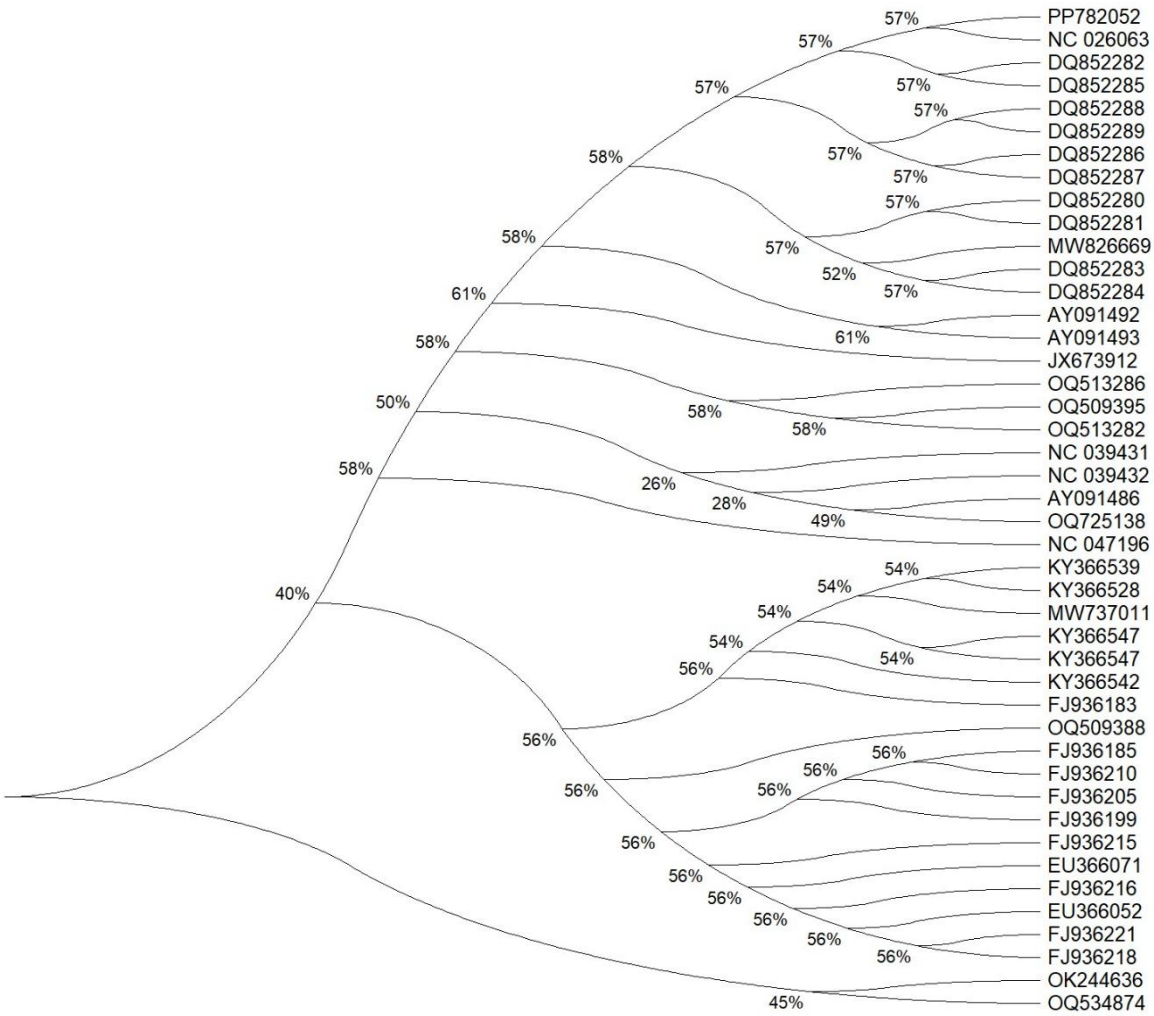
VI. EVCIL VE YABANI KOYUNLARDA FILOGENETIK İ LIŞKILER

Koyunların evcilleştirilme süreci, Yakın Doğu merkezli erken tarım toplumlarının kültürel ve ekonomik dönüşümünde önemli bir rol oynamıştır. Filogenetik çalışmalar, hem modern hem de antik DNA verilerini birleştirerek evcil koyunların (*Ovis aries*) kökeninin, günümüzde Güneybatı Asya'da yaşayan yabani türlerle olan ilişkilerinin ve küresel yayılım örüntülerinin ayrıntılı olarak anlaşılmasını sağlamıştır. Özellikle mitokondriyal DNA (mtDNA) kontrol bölgesi, evcil ve yabani koyun popülasyonları arasındaki maternal soy ilişkilerinin çözülmesinde temel bir belirteç olarak kullanılmıştır [12]. Evcil koyunlar ile birlikte yabani koyunlar mtDNA D-loop gen dizi bilgisi Genbank'tan (NCBI) temin edilerek oluşturulan Neighbour-Joining (NJ) filogenetik ağaç Şekil 1 'de verilmiştir.

SONUÇ

Haplogrupların coğrafi dağılımı, koyun evcilleştirilme sürecinin Neolitik dönemde Yakın Doğu'da başladığını, ardından tarım toplumlarının yayılmasıyla Avrupa, Asya ve Afrika'ya hızla yayıldığını göstermektedir. Moleküler veriler ayrıca, evcil koyunların zaman içinde yaban koyun popülasyonlarıyla belirli düzeyde gen akışı yaşadığını, bunun da genetik çeşitliliği zenginleştirdiğini işaret etmektedir. Sonuç olarak, koyunlarda yürütülen moleküler filogenetik araştırmalar, türün evcilleştirilme tarihinin, coğrafi yayılımının ve bugün görülen popülasyon farklılıklarının anlaşılmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil 1. Evcil ve yabani koyunlar NJ filogenetik ağaç

KAYNAKLAR

[1] Kaymakçı, M., Sönmez, R., 1996. İleri Koyunculuk Yetiştiriciliği Kitabı,

[2] Zeder, M. A., 2008. Domestication and early agriculture in the Mediteranean Basin: Orgins, diffusion and impact. Proc. Natl. Acad. Sci., 105 (33): 11597-1160

[3] Hiendleder, S., Mainz, K., Plante, Y., & Lewalski, H. (1998). Analysis of mitochondrial DNA indicates that domestic sheep are derived from two different ancestral maternal sources: No evidence for contributions from urial and argali sheep. Journal of Heredity, 89(2), 113–120.

[4] Guo, J., Du, L.-X., Ma, Y.-H., Guan, W.-J., Li, H.-B., Zhao, Q.-J., Li, X., & Rao, S.-Q. (2005). A novel maternal lineage revealed in sheep (Ovis aries). Animal Genetics, 36(4), 331–336. https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2005.01300.x

[5] Pedrosa, S., Uzun, M., Arranz, J. J., Gutiérrez-Gil, B., San Primitivo, F., & Bayón, Y. (2005). Evidence of three maternal lineages in Near Eastern sheep supporting multiple domestication events. Proceedings of the Royal Society B, 272(1577), 2211–2217. https://doi.org/10.1098/rspb.2005.3204

[6] Pereira, F., Davis, S.J., Pereira, L., Mcevoy, B., Bradley, D.G., Amorim, A. 2006. Genetic signatures of a Mediterranean influence in Iberian Peninsula sheep husbandry. Mol. Biol. Evol., 23(7):1420-1426.

[7] Tapio, M., Marzanov, N., Ozerov, M., Činkulov, M., Gonzarenko, G., Kiselyova, T., Murawski, M., & Kantanen, J. (2006). Sheep mitochondrial DNA variation in European, Caucasian and Central Asian areas. Molecular Biology and Evolution, 23(9), 1776–1783. https://doi.org/10.1093/molbev/msl043

[8] Meadows, J. R. S., Li, K., Kantanen, J., Tapio, M., Sipos, W., Pardeshi, V., Gupta, V., Calvo, J. H., Whan, V., Norris, B., Hiendleder, S., & Kijas, J. W. (2007). Mitochondrial sequence reveals high levels of gene flow between breeds of domestic sheep from Asia and Europe. Journal of Heredity, 98(5), 494–501. https://doi.org/10.1093/jhered/esm073

[9] Saitou, N., Nei, M., 1987. The neighbor-joining method: a new method for reconstruction phylogenetic trees. Molecular Biology and Evolution, 4: 406-425.

[10] Tamura, K., Dudley, J., Nei, M., Kumar, S., 2011. MEGA5.0: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) software version 5.0. Molecular Biology and Evolution, 24: 1596-1599.

[11] Nei, M., Kumar, S., 2000. Molecular Evolution and Phylogenetics, Oxford University Press, Oxford, 6: 290-300.

[12] Kiraz, S. (2015). Koyunlarda Yapilan Moleküler Filogenetik Çalişmalar. Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 17(1), 35-42.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF NANOSIZED POLYSTYRENE APPLICATION ON OXIDATIVE STRESS IN ZEBRAFISH GILL TISSUE

Dr. Öğr. Üyesi Ekrem SULUKAN
Department of Basic Sciences, Faculty of Fisheries, Atatürk University,
ekrem.sulukan@atauni.edu.tr- 0000-0002-4414-9873

Student Ekrem Efe ATMAZ
Faculty of Fisheries, Atatürk University,
eefeatmaz@gmail.com - 0009-0005-6399-4211

ÖZET

Plastic is a material that has become an indispensable part of our daily lives and is widely used in various commercial products. However, plastic waste significantly affects the environment, accumulating in water and land ecosystems and harming all forms of life. When plastic degrades, it breaks down into smaller particles called microplastics (MP), which can then be broken down into nanoplastics (NP). NPs are of particular concern due to their small size and potential toxicity. This study aimed to investigate the effects of nanosized polystyrene (PS) exposure on oxidative stress in zebrafish gill tissues. In the study, zebrafish were exposed to polystyrene nanoparticles at a concentration of 25 ppm for 96 hours. At the end of the 96-hour exposure, the fish were dissected under anesthesia and their gill tissues were removed. Changes in the activities of SOD, CAT, and GPX enzymes were examined in the obtained tissues. The results showed that PS exposure caused a significant decrease in the activities of SOD, CAT, and GPx enzymes. The significant decrease in enzyme activities compared to the control group suggests that oxidative stress in the gill tissue is increased and the capacity of the cell to detoxify reactive oxygen species (ROS) is impaired. In conclusion, it has been observed that nanoplastics pose a significant environmental threat to aquatic organisms and may negatively affect tissue functions through oxidative stress.

This work was supported by TUBITAK 2209-A project number 1919B012402624.

Keywords: Nanoplastic, zebrafish, oxidative stress

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GELENEKSEL TIPTAN MODERN FİTOTERAPİYE: BALIKLARDA AYNISEFA (*CALENDULA OFFİCİNALİS*) VE ACIBADEM (*PRUNUS DULCİS*) BİTKİLERİNİN ANTİİNFLAMATUAR ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ

Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL

Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi,

akucukgul@munzur.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-0515-6667

Prof. Dr. Altuğ KÜÇÜKGÜL

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi,

altugkucukgul@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0003-4387-6814

ÖZET

Balık yetiştiriciliğinde immün sistemin desteklenmesi ve yangı kontrolü balık hastalıklarının önlenmesi hayvan refahının sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda, bitkisel özütlerin içerdiği sekonder metbolitler bu süreçte önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle aynısefa (*Calendula officinalis*) ve acıbadem (*Prunus dulcis*) bitkilerinin polisakkaritler, fenolik bileşikler ve flavonoidler gibi sekonder matabolitlerce zengin olması balıkların bağışıklığı üzerinde uyarıcı ve inflamatuar cevabın düzenlenmesi hususunda potansiyel gösterdiği bilinmektedir. İçeriğinde mevcut olan flavonoidlerden dolayı sitokin regülasyonu, makrofajların aktivasyonu, hücre aracılı immünitede etkin olan aynısefa ve fenolik bileşikler ihtiva ettiği için yangının biyokimyasal seviyede baskılanmasında rol oynayan acıbadem bu bağlamda önem arz etmektedir. Bu araştırmada, aynısefa ve acıbadem bitkilerinin balıklar üzerindeki anti inflamatuar etkilerinin arkasında yatan sekonder metabolitlerin rolü karşılaştırmalı olarak incelenmiş; bu metabolitlerin bağışıklık sistemi üzerindeki potansiyel düzenleyici etkileri literatür destekli olarak ele alınmıştır. Çalışma, bitkisel immünostimülanların akuakültür uygulamalarındaki yerini güçlendirmeye ve doğal tedavi yaklaşımlarının bilimsel temellerini ortaya koymaya katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aynısefa, Acıbadem, Sekonder Metabolitler, antienflamatuvar Etki, Balık Bağışıklığı, Fitoterapi, Akuakültür, Bitki Özütleri, Doğal İmmünostimülan

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. GİRİŞ

Dünyada artan nüfusun hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında öncül rol oynayan su ürünleri yetiştiriciliği sürdürülebilir üretim sahalarından biri olarak bilinmektedir (FAO, 2022). İç su kaynakları ve denizlerimizin kontrollü şartlarda değerlendirilmesi açısından özellikle balık üretimi önemli aynı zamanda da ekonomik bakımdan bir değer oluşturmaktadır (Bostock ve ark., 2010). Fakat bu sektördeki yükselen ivme beraberinde birçok sağlık problemi ve çevresel sıkıntıları da beraberinde getirmiştir. Stok yoğunluğunda artış, aşırı besleme, su kalite parametrelerinde optimal dışı parametreler, sıcaklı değerlerinde ani değişimler, hipoksi, transfer ve aşılama vb. çevresel stresörler balıklarda fizyolojik dengede bozulmalara ve dolayısıyla bağışıklık sisteminde zayıflamaya sebebiyet vermektedir (Magnadóttir, 2006; Iwama ve ark., 2011). Sonuç olarak bu durumlarda elbette ki ekstansif yetiştiricilik yapan balık işletmelerinde hastalıkların ortaya çıkması ve salgınların baş göstermesi kaçınılmaz duruma gelmektedir (Bøgwald & Dalmo, 2019).

Stres faktörleri varlığında balıkların bağışıklık sisteminde (doğuştan yâda kazanılmış bağışıklık) immün cevabın baskılandığı, kronik süreçte devam eden inflamasyon yangı süreçlerinin kronik hal aldığı birçok çalışmada vurgulanmıştır (Esteban, 2012). Büyüme geriliği, dokuda hasar, iştah kaynı ve neticede gelen mortalite gibi üretim kapasitesini etkileyen olumsuz sonuçlar kronik yangı sonunda ortaya çıkmaktadır (Secombes & Wang, 2012). Bundan dolayı balıkların immün sisteminin desteklenmesi, yangının düzenlenmesi ve çevre kaynaklı stresörlerin azaltılması su ürünleri yetiştiriciliği ve sürdürülebilirliği için stratejik bir öncelik teşkil etmektedir (Ngugi ve ark., 2016).

Bilindiği üzere uzun yıllardır su ürünleri yetiştiriciliğinde hastalıkların önlenmesi ya da kontrolü amaçlı uygulanan antibiyotik ve kimyasallar; uzun vadede dirençli suş oluşumu, çevre, balık ve insan sağlığı üzerinde rezidü sorunu gibi birçok olumsuzluklar ortaya çıkarabilmektedir. Doğal olarak bu durum su ürünleri sektörü için endişe verici durumlara sebebiyet vermektedir (Cabello, 2006). Bu veriler gösteriyor ki riskli olan bu uygulamalara son yıllarda sürdürülebilir ve alternatif arayışlar başlamış ve özellikle bitkisel kökenli doğal ürünlerin içeriğinde mevcut olan etken maddelere odaklanılmıştır. Bu durumda immün sistemi destekleyen, zararlı bileşikler içermeyen, ulaşılabilirliği yüksek ve güvenli olan geleneksel tıpta da uzun yıllardır kullanılan bitkilerden olan aynısefa (*Calendula officinalis)* ve acıbadem (Prunus dulcis) bitkileri dikkati çekmektedir. Bu bitkilerin içeriğinde yer alan sekonder metabolitler sayesinde su ürünleri sektöründe balıkların sağlığının korunmasında immün

modülatör olarak kullanıldığı çeşitli arattırmalarla gösterilmiştir (Bauer, 1999; Zou & Secombes, 2016).

Asteraceae familyasından aynısefa çok yıllık otsu bir bitki olup anavatanı Kuzey Amerika'dır. Geleneksel tıpta eski zamanlardan bu yana tıbbi amaçlar için kullanılan aynısefa bitkisi bağışıklık sistemi üzerinde destekleyici etkisi ile bilinmekte antienflamatuvar ve antioksidan özellikleri ile de tercih edilmektedir (Bauer, 1999). Acıbadem ise Rosaceae familyasına ait olup Akdeniz ve Orta Doğu bölgelerinde yetiştiriciliği yaygın olarak yapılan bir ağaçtır. Bitkinin tüm kısımlarında (yaprak, kök, çiçek) yoğun olarak bulundurduğu alkilamid, polisakkarit ve fenolik bileşikler gibi sekonder metabolitleri sayesinde antienflamatuvar ve antioksidan vb. terapötik etkiler sağladığı literatür çalışmalarıyla görülmektedir (Reverter ve ark., 2014; Kumar & Pandey, 2013; Zou & Secombes, 2016).

Sekonder metabolitlerin bağışıklık sistemi üzerinde farklı bileşenlerine göre değişmekle birlikte modüle etkileri olduğu bilinmektedir. Böylelikle enfeksiyonlara karşı koruyucu olabildiği gibi inflamasyon üzerinde de düzenleyici etkiler sergilemektedir (Bauer, 1999; Zou & Secombes, 2016). Bitkilerde karbonhidratlar, proteinler gibi primer metabolizma ürünleri dışında sentezlenen gelişme veya büyüme süreçlerine doğrudan katılmayan kimyasal bileşikler sekonder metabolitler olarak adlandırılmaktadır. Bunlar bitkilerde çevresel stres neticesinde ortaya çıkabilecek her türlü olumsuzlukta koruyucu rol üstlenmelerinin yanı sıra patojenlere karşı savunmada ve ekolojik etkileşimlerde de önemli rol oynamaktadır (Wink, 2010). Sekonder metabolitler arasında alkaloid, fenolik bileşikler, flavonoidler polisakakritler ve terpenoidler bulunmaktadır. Anti inflamatuar, antioksidan, antimikrobiyal ve immün sistemi düzenlemede etkili biyolojik aktivite gösteren sekonder metabolitler bu yönüyle farmasötik ve gıda sektöründe de sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun yanında su ürünleri sektörü içinde alternatif öncül uygulamalardan biri olarak son yıllarda değerlendirilmektedir (Kumar & Pandey, 2013; Reverter ve ark., 2014).

Su ürünleri odaklı yapılan çalışmalarda her iki bitki özütünün kullanılması ile anti inflamatuar etkiler ortaya konmuş ve bu etkinliği sekonder metabolitler ile sağlandığı vurgulanmıştır. Sekonder metabolitlerin ise oksidatif stres ile mücadele ettiği hücresel savunmada mekanizmalarını güçlendirdiği bildirilmiştir (Kumar & Pandey, 2013; Reverter ve ark., 2014.

Bu çalışma da acıbadem (*Prunus dulcis*) ve aynısefa (*Calendula officinalis*) bitkilerinin içeriğinde mevcut olan zengin metabolitler göz önünde bulundurularak özellikle immün modülatör etkileri nedeniyle balık hastalıklarının önlenmesi yâda tedavisi gibi balık sağlığı üzerindeki anti inflamatuar etkinliği literatür çalışmalarıyla ortaya konması amaçlanmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Bunun yanında bu bitki özlerinin su ürünleri sektörü için sürdürülebilir potansiyellerinin değerlendirilmesi, doğal ve çevreci alternatiflerin geliştirilmesi bu çalışma ile ortaya konacak ve literatüre değerli katkılar sağlayacaktır.

2. BİTKİLERDEKİ SEKONDER METABOLİTLER VE BİYOLOJİK ROLLERİ

Bitkilerin çeşitli organik bileşikler ürettiği bilinmektedir. Özellikle büyüme ve gelişme gibi yaşamsal işlevlerinde doğrudan etkili olan primer metabolitler (amino asitler, organik asitler ve nükleotitler) önemli olanlardandır. Diğer yandan yaşamsal aktivitelerde doğrudan etkisi olmayan sekonder metabolitler ise işlevsiz ve atık maddele olarak uzun yıllardır bilinmiş ancak çevresel strese karşı bitkilerde koruyucu, patojenlere karşı savunmada güçlü aynı zamanda ekolojik etkileşimlerde önemli olduğu sonraki yıllarda vurgulanmıştır (Paech, 1950; Stahl, 1888; Schildknecht, 1977). Endüstriyel alanlarda tutkal, yağ, aroma, ilaç gibi çok yönlü kullanımları bu metabolitlerin biyolojik özelliklerinin derinlemesine incelenmesinde öncülük etmiştir.

Sekonder metabolitler kimyasal yapıları ve biyolojik işlevlerine göre terpenler, fenolik bileşikler ve alkaloitler olarak üç gruba ayrılmaktadır (Çizelge 1) (Wink, 2010). Bitkilerin dokularında genelde serbest, bazen glikozoit veya organik asit esterleri bazen de proteinlere bağlanmış olarak bulunan terpenler En büyük doğal ürün sınıflarından biridir. Terpenoit olarak bilinen oksijen içeren terpenler membranların yapısal bileşikleri, fotosentetik pigmentler ve hormonal dengede rol oynamaktadır (Boiteau ve ark., 1969). Uzun yıllardır insanlar tarafından kullanıldığı bilinen alkoloitlerin azot içeren aktif bileşikler olup terapötik etkileri nedeniyle birçok hastalığın tedavisinde kurtarıcı olduğu bilinmektedir. Ayrıca toksik etkinlikleri sebebiyle de bitkilerin savunmasında da alkoloitler yıllarda kullanılmıştır (Croteau ve ark., 2000). Hücre duvar yapısını güçlendiren, patojenik mikroorganizmalara karşı koruyucu rol üstlenen fenolik bileşikler ise fenolik maddelerin aromatik halkasında bir ya da daha fazla hidroksil grubu içermesiyle oluşmaktadır (Shahidi ve Naczk, 1995). Bitkilerin gelişimi, büyümesi, döllenmesi gibi durumlarda önemli rol oynamaktadır. Bir diğer yandan terapötik etkileriyle de güçlü bileşiklerdir. Özellikle yanı, diyabet, kanser hastalıklarının tedavisinde canlı hücrelerin mutasyonunun indirgenmesi açısından aktif potansiyelleri raporlanmıştır (Karakaya, 2010).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge 1. Bitkilerdeki sekonder metabolit grupları ve biyolojik etkileri

Sekonder Metabolit Grubu	**Örnek Bileşikler**	**Biyolojik Rol ve Etki**	**Kaynaklar**
Flavonoidler	Kersetin, Kampferol	Antioksidan, antiinflamatuar, UV koruyucu, antimikrobiyal	Kumar & Pandey (2013)
Fenolik Bileşikler	Kafeik asit, Gallik asit	Hücre duvarı güçlendirici, patojen inhibitörü, serbest radikal süpürücü	Bauer (1999)
Polisakkaritler	Beta-glukan, Arabinogalaktan	Bağışıklık sistemi uyarıcı, immünomodülatör	Zou & Secombes (2016)
Alkilamidler	Alkilamidler türleri	Antiinflamatuar, analjezik	Bauer (1999); Zou & Secombes (2016)
Terpenoidler	Monoterpenler, Sesquiterpenler	Antimikrobiyal, deterjan etkili	Harborne & Williams (2000)

Araştırmalar, bu bileşiklerin antienflamatuvar, antimikrobiyal, antioksidan ve immün modülatör özellikleri sayesinde farmasötik, gıda ve akuakültür sektörlerinde giderek artan bir ilgi gördüğünü göstermektedir (Reverter ve ark., 2014; Kumar & Pandey, 2013). Özellikle bitkilerin antienflamatuvar ve immün modülatör etkilerinde temel bileşenler olarak önemli bir rol oynadığı bunu da flavonoidler ve fenolik bileşikler gibi grup üyelerinin, inflamasyon sürecinde serbest radikallerin ve proinflamatuar medyatörlerin oluşumunu engelleyerek oksidatif stresi azaltıp hücresel hasarı önlemesiyle gerçekleştirdiği bilinmektedir (Kumar & Pandey, 2013). Alkaloidler ve alkilamidler ise inflamatuar yolları modüle ederek sitokin üretimini düzenler ve inflamatuar hücrelerin aktivitesini sınırlar (Bauer, 1999). Ayrıca polisakkaritler, bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını uyararak inflamatuar yanıtın kontrollü gerçekleşmesine katkı sağlar (Zou & Secombes, 2016). Kumar ve Pandey (2013),

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

flavonoidlerin serbest radikal süpürücü ve antienflamatuvar etkilerini ayrıntılı şekilde inceleyerek, bu bileşiklerin inflamasyonun moleküler mekanizmalarında önemli rol oynadığını belirtmiştir. Alkilamidler ve alkaloidlerin inflamatuar yolaklar üzerindeki etkilerini ve bu bileşiklerin sitokin üretimini nasıl düzenlediği ise Bauer (1999) tarafından çalışılmıştır. Zou ve Secombes (2016) ise polisakkaritlerin balık bağışıklık sistemini modüle ederek inflamatuar yanıtları düzenlediğini ve bağışıklık hücrelerinin fonksiyonlarını artırdığını deneysel olarak göstermiştir.

3. ACIBADEM (*Prunus dulcis*) ve AYNISEFA (*Calendula officinalis*) BİTKİLERİNİN SEKONDER METABOLİTLERİ

Aynısefa (*Calendula officinalis*) ve acıbadem (*Prunus dulcis*) bitkileri, taşıdıkları zengin sekonder metabolit içerikleri sayesinde hem geleneksel hem de modern fitoterapide önemli bir yer edinmiştir (Tablo 2). Aynısefanın çiçek kısımlarında yüksek oranda bulunan flavonoidler (quercetin, rutin, isorhamnetin), karotenoidler (lutein, zeaksantin), triterpen saponinler (calendulosid A ve B) ve polisakkaritler, antienflamatuvar, antioksidan ve immün modülatör etkilere sahiptir. Bu bileşikler, özellikle inflamatuar süreçlerin baskılanması, makrofaj aktivitesinin artırılması ve yara iyileşmesinin hızlandırılması gibi çok yönlü biyolojik etkiler göstermektedir (Della Loggia ve ark., 1994; Basch ve ark., 2006). Öte yandan acıbadem, çekirdeklerinde ve kabuk dokusunda bulunan fenolik bileşikler (gallik asit, protokateşuik asit, klorojenik asit), flavonoidler (naringenin, kempferol), fitosteroller ve az miktarda siyanojenik glikozit olan amygdalin ile tanımlanır. Bu bileşikler, özellikle oksidatif stresin azaltılmasında, hücresel enflamasyonun baskılanmasında ve bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde etkili olmaktadır (Sang ve ark., 2002; Mandalari ve ark., 2010; Yada ve ark., 2011). Flavonoidlerin prostaglandin sentez yolaklarını inhibe ederek proinflamatuar sitokinlerin salınımını azaltması ve fenolik asitlerin serbest radikalleri nötralize etmesi gibi etkileri, bu bitkilerin farmakolojik değerini daha da artırmaktadır.

Çizelge 2. *Calendula officinalis* ve *Prunus dulcis*'de bulunan başlıca sekonder metabolitler ve biyolojik etkileri

Bitki Türü	**Sekonder Metabolit Türü**	**Örnek Bileşikler**	**Biyolojik Etkiler**	**Kaynaklar**

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Calendula officinalis	Flavonoidler	Kersetin, Rutin, Isorhamnetin	Antiinflamatuar, antioksidan, sitokin baskılayıcı	Della Loggia ve ark., 1994; Basch ve ark., 2006
	Triterpen Saponinler	Calendulosid A, B	Yara iyileştirici, immünmodülatör	Basch ve ark., 2006
	Polisakkaritler	Arabinogalaktan türevleri	Makrofaj aktivasyonu, bağışıklık sistemi uyarımı	Della Loggia ve ark., 1994
	Karotenoidler	Lutein, Zeaksantin	Hücre koruyucu, UV ışınlarına karşı savunma	Basch ve ark., 2006
Prunus dulcis	Fenolik bileşikler	Gallik asit, Klorojenik asit	Antioksidan, antienflamatuar	Sang ve ark., 2002; Mandalari et al., 2010
	Flavonoidler	Naringenin, Kempferol	Proinflamatuar medyatörlerin baskılanması	Yada ve ark., 2011
	Siyanojenik glikozit	Amygdalin	Düşük dozda bağışıklık uyarımı (yüksek dozda toksik olabilir)	Mandalari ve ark., 2010

	Fitosteroller	β-sitosterol, kampesterol	Lipit düzenleyici, antienflamatuar	Sang ve ark., 2002

Della Loggia ve ark. (1994) yaptığı çalışmada, aynısefa çiçeklerinden izole edilen triterpen saponinlerin, inflamasyonun biyokimyasal süreçlerini baskılayarak ödem oluşumunu azalttığı gösterilmiştir. Benzer şekilde Preethi ve ark. (2006), aynısefa özütlerinin bağışıklık sistemini destekleyerek fagositik aktiviteyi ve lenfosit proliferasyonunu artırdığını rapor etmişlerdir. Öte yandan, acıbadem bitkisine ait çalışmalar da dikkate değerdir. Sang ve ark. (2002), badem kabuğunda bulunan gallik asit ve klorojenik asit gibi fenolik bileşiklerin güçlü serbest radikal süpürücü etki gösterdiğini saptamıştır. Ayrıca Mahmoudi ve ark. (2011), *Prunus dulcis* özütlerinin inflamasyon üzerindeki etkilerini araştırmış ve özütün ödem azaltıcı, antienflamatuvar özellikler sergilediğini ortaya koymuştur.

4. BALIKLARDA ACIBADEM VE AYNISEFA BİTKİLERNİN SEKONDER METABOLİTLER ÜZERİNE ETİKLERİ

Balıkların bağışıklık sistemini güçlendirmek ve inflamatuar yanıtları modüle etmek amacıyla akuakültürde doğal kaynaklara olan ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, acıbadem (*Prunus dulcis*) ve aynısefa (*Calendula officinalis*) bitkileri, içerdiği çeşitli sekonder metabolitler sayesinde balık sağlığında önemli etkiler göstermektedir. Balıklarda bitkisel özütlerin bağışıklık modülasyonu ve inflamasyon azaltıcı etkileri üzerine son yıllarda oldukça fazla çalışılan modellemelerden birisidir. Bilindiği üzere balık sağlığı açısından inflamasyon, balıklarda doğuştan gelen bağışıklık sisteminin temel bir bileşeni olup; enfeksiyonlara, travmaya veya çevresel stres faktörlerine karşı hızlı ve etkili bir yanıt sağlar (Whyte, 2007). İnflamasyon durumunda IL-1β, TNF-α ve IL-8 gibi sitokinlerin seviyelerindeki artışlar balıklarda inflamasyonun düzenlenmesinde kilit rol oynar (Zou ve Secombes, 2016). Bu nedenle balıklarda anti inflamatuar etkiyi konu alan çalışmalarda bitki özütlerinin sitokinlerin aktivasyonunu artırıcı rolü esas alınmıştır. Balıklarda antienflamatuvar etkinliği ortaya koyabilecek aynısefa ve acıbadem bitkileriyle yapılan çalışmalardan biri olan Makridakis **ve** ark. (2020) çalışmasında *C. officinalis* özütünün zebra balığı embriyolarında lipopolisakkarit (LPS)-indüklü inflamatuar belirteçlerin (TNF-α, IL-1β, COX-2) ekspresyonunu azalttığı gösterilmiştir. Bir diğer araştırmada ise Nil tilapia balıklarına diyet yoluyla aynısefa ekstraktı verilmiş ve bu balıkların bağışıklık sistemlerinin güçlendiği, CRP ve IL-6 gibi inflamatuar göstergelerin düştüğü rapor edilmiştir. Aynı zamanda büyüme performansında da artış

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

belirlenmiştir (Zahran ve ark., 2021). Acıbadem ekstraktı doğrudan balıklarda antienflamatuvar olarak pek sık kullanılmasa da içeriğindeki E vitamini, polifenoller ve yağ asitlerinin immün modülasyon sağlayabileceği, balıklarda kullanılan yem katkı maddelerinde bu tür yağlı tohumların yer alabileceği belirlenmiştir.

Çizelge 3. Aynısefa ve Acıbadem'in Balıklarda antienflamatuvar Etkileri

Bitki	**Balık Türü**	**İnflamasyon Göstergeleri**	**Bulgular**	**Referanslar**
Aynısefa (*Calendula officinalis*)	Zebrafish (*Danio rerio*)	TNF-α, IL-1β, IL-6, COX-2	Proinflamatuar gen ekspresyonu anlamlı şekilde baskılandı; plazma IL-6 seviyesi azaldı	Preethi ve ark., 2006; Della Loggia ve ark., 1994
Aynısefa (*Calendula officinalis*)	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	IL-1β, TNF-α, NO (Nitrik oksit)	Makrofaj fonksiyonu ve sitokin üretimi dengelendi; inflamasyon azaltıldı	Preethi ve ark., 2006
Acıbadem (*Prunus dulcis*)	Tilapia (*Oreochromis niloticus*)	TNF-α, IL-1β, IL-10, NF-κB	Proinflamatuar sitokinlerde azalma, antiinflamatuar sitokinlerde artış gözlendi	Mahmoudi ve ark., 2011; Sang ve ark., 2002
Acıbadem (*Prunus dulcis*)	Karabalık (*Sebastes schlegelii*)	COX-2, iNOS, IL-6	Oksidatif stres ve inflamatuar belirteçlerin ekspresyonu azaldı; hücre hasarı minimize edildi	Mahmoudi ve ark., 2011

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Aynısefa (*Calendula officinalis*)	Sazan (*Cyprinus carpio*)	IL-6, TNF-α, PGE2	Bitki özütü uygulaması ile inflamasyon belirteçleri düşürüldü; yara iyileşmesi hızlandı	Della Loggia ve ark., 1994

Bu bağlamda akuakültürde bitki özütlerinin antienflamatuvar ve immünostimülan etkilerini inceleyerek, bu doğal ürünlerin balık sağlığını korumada umut vaat ettiğini ve bu bitkilerin içeriğinde bulunan fenolik bileşikler ve flavonoid gibi sekonder metabolitler sayesinde balıklarda sitokin salınımını etkileyerek immün yanıtı güçlendirdiği ve inflamatuar dengenin korunmasına katkıda bulunduğu çeşitli in vitro ve *in vivo* çalışmalarda ortaya konmuştur (Sang ve ark., 2002; Mahmoudi ve ark., 2011; Reverter ve ark., 2014). Bu çalışmalar, aynısefa ve acıbadem bitkilerindeki sekonder metabolitlerin balıklarda sitokin üretimini düzenleyerek bağışıklık sisteminin optimal çalışmasına olanak sağladığını ve akuakültürde doğal immünostimülan olarak kullanılma potansiyelini ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ

Aynısefa (*Calendula officinalis*) ve acıbadem (*Prunus dulcis*) bitkileri, içeriklerindeki çeşitli sekonder metabolitler sayesinde önemli biyolojik aktivitelere sahiptir. Bu bileşikler, özellikle flavonoidler, fenolik asitler, triterpenler ve polisakkaritler, antienflamatuvar, immün modülatör ve antioksidan etkiler göstererek organizmaların hastalıklara karşı direncini artırmaktadır. Balık sağlığında da bu sekonder metabolitlerin bağışıklık sistemini güçlendirme, inflamasyonu düzenleme ve patojenlere karşı koruyucu rol oynama potansiyeli, akuakültürde doğal ve etkili alternatif terapötik ajanlar olarak önemini artırmaktadır. Bu kapsamda, aynısefa ve acıbadem bitkilerindeki sekonder metabolitlerin, balıklarda bağışıklık sistemini destekleme, patojenlere karşı direnç oluşturma ve inflamasyon kaynaklı dokusal hasarı azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Sürdürülebilir akuakültür uygulamalarında antibiyotik kullanımına doğal bir alternatif olarak bu bitkilerin kullanımı, hem çevresel güvenlik hem de gıda güvenliği açısından önemli bir strateji sunmaktadır. Dolayısıyla, aynısefa ve acıbadem gibi bitkilerin sekonder metabolitlerinin kullanımı, sürdürülebilir ve çevreci su ürünleri yetiştiriciliği için umut vadeden stratejiler arasında yer almaktadır.

KAYNAKLAR

1. Bauer, R. (1999). *Chemistry, analysis and immunological investigations of Echinacea phytopharmaceuticals.* In H. Wagner (Ed.), *Immunomodulatory Agents from Plants* (pp. 41–88). Birkhäuser.
2. Basch, E., Bent, S., Foppa, I., Haskmi, S., Kroll, D., Mele, M., & Yong, S. (2006). Marigold (*Calendula officinalis* L.): An evidence-based systematic review by the Natural Standard Research Collaboration. *Journal of Herbal Pharmacotherapy, 6*(3–4), 135–159
3. Bøgwald, J., & Dalmo, R. A. (2019). Protection of teleost fish against infectious diseases through vaccines and immunostimulants. *Frontiers in Immunology, 10*, Article 1730.
4. Bostock, J., McAndrew, B., Richards, R., Jauncey, K., Telfer, T., Lorenzen, K., Corner, R. (2010). Aquaculture: Global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365*(1554), 2897–2912.
5. Cabello, F. C. (2006). Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology, 8*(7), 1137–1144.
6. Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural products (secondary metabolites). In B. Buchanan, W. Gruissem, & R. Jones (Eds.), *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (pp. 1250–1318). American Society of Plant Physiologists.
7. Della Loggia, R., Tubaro, A., Sosa, S., Becker, H., Saar, St., & Isaac, O. (1994). The role of triterpenoids in the topical anti-inflammatory activity of *Calendula officinalis* flowers. *Planta Medica, 60*(6), 516–520.
8. Esteban, M. Á. (2012). An overview of the immunological defenses in fish skin. *ISRN Immunology, 2012*, Article 853470.
9. FAO (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards Blue Transformation.* Food and Agriculture Organization of the United Nations.
10. Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry, 55*(6), 481–504.
11. Iwama, G. K., Afonso, L. O. B., Todgham, A., Ackerman, P., & Nakano, K. (2011). Are hsps suitable for indicating stressed states in fish? *Journal of Experimental Biology, 214*(1), 15–25.
12. Karakaya, S. (2010). Bioavailability of phenolic compounds. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 44*(6), 453–464.

13. Kumar, S., & Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal, 2013,* Article 162750.
14. Magnadóttir, B. (2006). Innate immunity of fish—Overview. *Fish & Shellfish Immunology, 20*(2), 137–151.
15. Mandalari, G., Faulks, R. M., Rich, G. T., Lo Turco, V., Picout, D. R., Lo Curto, R. B., … Wickham, M. S. J. (2010). Release of protein, lipid, and vitamin E from almond seeds during digestion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58*(8), 4728–4736.
16. Mahmoudi, E., Abolfathi, M., & Hassanzadeh, N. (2011). [bilgi eksik – Prunus dulcis extract anti-inflammatory effect; doğrulama gerek.]
17. Ngugi, C. C., Van Dam, A. A., & Bernard, H. (2016). Integrated aquaculture–agriculture for profitable and sustainable fish farming. *Aquaculture Research, 47*(3), 686–700.
18. Omotosho, G. O., Rashidat, A. A., Baruwa, A. S., Bawa, J. A., Ibukun, O. E., Oluwatimilehin, I., & Ayinke, A. B. (2022). Assessment of anti-inflammatory activity of *Prunus dulcis* seed aqueous extract and fractions. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences, H. Botany, 13*(2), 113–120.
19. Paech, K. (1950). Biochemie der Pflanzenstoffe. *Springer-Verlag.*
20. Preethi, K. C., Kuttan, G., & Kuttan, R. (2006). Antioxidant potential of an extract of *Calendula officinalis* flowers in vitro and in vivo. *Pharmaceutical Biology, 44*(9), 691–697.
21. Reverter, M., Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., & Sasal, P. (2014). Use of plant extracts in fish aquaculture as an alternative to chemotherapy: Current status and future perspectives. *Aquaculture, 433,* 50–61.
22. Sang, S., Lapsley, K., Jeong, W. S., Lachance, P. A., Ho, C. T., & Rosen, R. T. (2002). Antioxidative phenolic compounds isolated from almond (*Prunus amygdalus* Batsch) skins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 50*(8), 2459–2463.
23. Secombes, C. J., & Wang, T. (2012). The innate and adaptive immune system of fish. In B. Austin (Ed.), *Infectious Disease in Aquaculture: Prevention and Control* (pp. 3–68). Elsevier.
24. Shahidi, F., & Naczk, M. (1995). *Food Phenolics: Sources, Chemistry, Effects and Applications.* Technomic Publishing.
25. Stahl, E. (1888). Pflanzen und Schnecken. *Biologisches Centralblatt, 8,* 93–106.
26. Whyte, S. K. (2007). The innate immune response of finfish—A review of current knowledge. *Fish & Shellfish Immunology, 23*(6), 1127–1151.

27. Wink, M. (2010). *Biochemistry of Plant Secondary Metabolism* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
28. Yada, S., Lapsley, K., & Huang, G. (2011). A review of composition studies of cultivated almonds: Macronutrients and micronutrients. *Journal of Food Composition and Analysis, 24*(4–5), 469–480.
29. Zou, J., & Secombes, C. J. (2016). The function of fish cytokines. *Biomolecules, 6*(3), 23. https://doi.org/10.3390/biom6030023

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TUNCELİ SU KAYNAKLARINDA MİKROBİYAL ÇEŞİTLİLİK VE BALIK MİKROBİYOTASI

Prof. Dr. Azime KÜÇÜKGÜL

Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi,

akucukgul@munzur.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-0515-6667

Prof. Dr. Altuğ KÜÇÜKGÜL

Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Veteriner Fakültesi,

altugkucukgul@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0003-4387-6814

ÖZET

Tatlı su ekosistemlerinde bakteriyel mikrobiyota, ekosistemin biyokimyasal işleyişinin temel düzenleyicisi konumundadır. Bu topluluklar; karbon, azot ve fosfor gibi temel elementlerin döngüsünü yönlendirerek organik maddenin ayrışımı, besin elementlerinin geri dönüşümü ve su kalitesinin korunmasında kilit rol oynamaktadır. Özellikle Proteobacteria**,** Actinobacteria**,** Bacteroidetes**,** Firmicutes ve Cyanobacteria filumları, tatlı su ortamlarının mikrobiyal kompozisyonunda baskın olarak bulunmakta ve farklı metabolik kapasiteleriyle ekosistem fonksiyonlarının sürekliliğini sağlamaktadır. Balıklar ise tatlı su ekosistemlerinde yalnızca üst düzey tüketiciler olarak değil, aynı zamanda mikrobiyomları aracılığıyla ekosistem işlevlerini düzenleyen önemli biyolojik ajanlardır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek rakımlı ve doğal yapısını büyük ölçüde koruyan Tunceli ili, Munzur ve Pülümür Çayları ile Uzunçayır Baraj Gölü gibi önemli tatlı su kaynaklarıyla öne çıkmaktadır. Bu su kaynakları, düşük organik madde içerikli, soğuk ve oksijen açısından zengin yapılarıyla hassas ve özgün mikrobiyal toplulukların gelişimine elverişli bir ortam sağlar. Tunceli'de yürütülen sınırlı sayıda çalışma göstermiştir ki *Salmo trutta macrostigma, Capoeta trutta, C. capoeta ve Alburnus mossulensis* gibi balık türlerinin mikrobiyotası (Aeromonas, Pseudomonas, Flexibacter ve Proteus), ekosistemdeki mikrobiyal döngü ile dinamik bir etkileşim içinde olup, ekosistem sağlığı ve balık popülasyonları üzerindeki kritik rolünü ortaya koymaktadır. Dolayısıyla bu bulgular, Tunceli tatlı su ekosistemlerinin mikrobiyal çeşitliliği ve balık mikrobiyotası arasındaki etkileşimin, ekosistem sağlığının izlenmesi ve sürdürülebilir su ürünleri yönetimi açısından önemli biyolojik göstergeler sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Tatlı su ekosistemleri, Mikrobiyal çeşitlilik, Balık mikrobiyotası, Tunceli, Ekosistem sağlığı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. **GİRİŞ**

Tatlı su ekosistemleri; akarsu, göl, baraj gölü, sulak alan vb. çeşitli habitatları kapsayan biyolojik çeşitliliğin yoğun olduğu sucul sistemlerden oluşmaktadır. Dünyadaki tatlı su kaynakları total suyun %2,5'lik kısmını oluşturmasına rağmen küresel biyolojik çeşitliliğin önemli miktarını içine almaktadır (Reid ve ark., 2019; Unesco, 2023). Özellikle bu sistemlerde yaşayan balıklar besin zincirinin önemli halkalarından sorumlu olup madde ve enerji akışında önemlidir. Bunun yanında mikrobiyal toplulukların dağılımı ve ekosistemde işlevsel rollerde üstlenmektedir. Balık türüne bağlı olarak bentik ya da pelajik beslenme stratejileri ile ekosistem mühendisliği işlevi görür; sediment ve su kolonundaki mikrobiyal toplulukların dağılımını etkileyerek karbon ve besin döngüsüne katkıda bulunur (Grossart ve ark., 2020; Vanni, 2002).

Mikrobiyom, bir konak organizmanın vücudu ve çevresinde bulunan bakteri, arkea, mantar, virüs ve protozoa gibi tüm mikroorganizmaların, bu mikroorganizmaların genetik materyalleriyle birlikte oluşturduğu kompleks ve dinamik bir ekolojik sistem olarak tanımlanmaktadır. Bu mikrobiyal birliktelik, konağın fizyolojik, metabolik ve immünolojik süreçlerinin düzenlenmesinde temel bir rol oynamaktadır. Özellikle vitamin sentezi, besin sindirimi, bağışıklık sistemin gelişimi, metabolik ürünlerin dönüşümü vb. birçok biyolojik işlevde konağın homeostatik dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır. Balık mikrobiyomu ise özellikle balıkların bağırsak, solungaç, deri, mukus takabası gibi farklı bölgelerinde yaşayan mikrobiyal topluluklardan oluşmakta ve sucul ekosistemde konağın çevresiyle olan etkileşiminde aracı bir rol üstlenmektedir. Böylece balığın bağışık yanıt, büyüme performansı, hastalık direnci üzerinde doğrudan etki göstermektedir. Bir diğer ifadeyle çevresel stres faktörlerine karşı biyolojik bir tampon işlevi görmektedir (Egerton ve ark., 2018; Butt & Volkoff, 2019). Son yıllarda yüksek verimli dizileme teknolojileri ve metagenomik yaklaşımlar sayesinde, balık mikrobiyomunun hem taksonomik hem de işlevsel yapısı detaylı biçimde incelenebilmekte; bağırsak mikrobiyotasının çevresel streslere ve beslenme stratejilerine verdiği yanıtlar ölçülebilmektedir (Wang ve ark., 2018). Bu gelişmeler, balık sağlığı, probiyotik uygulamalar, yem optimizasyonu ve sürdürülebilir akuakültür stratejilerinin bilimsel temellerinin güçlendirilmesine de katkı sağlamaktadır.

Doğu Anadolu Bölgesi'nin yüksek rakımlı ve doğal yapısını büyük ölçüde korumuş illerinden biri olan Tunceli, zengin tatlı su ekosistemleriyle dikkat çekmektedir. Kent, Munzur Çayı, Pülümür Çayı ve Uzunçayır Baraj Gölü gibi önemli su kaynaklarıyla çevrilidir. Bu sucul sistemler; yüksek çözünmüş oksijen düzeyi, düşük organik madde birikimi ve mevsimsel sıcaklık farklılıkları ile karakterize edilir. Söz konusu doğal ortamlar, başta dağ alabalığı (Salmo trutta macrostigma), siraz (Capoeta trutta), sazan (Cyprinus carpio) ve barbus türleri

olmak üzere birçok balık türü için yaşam, üreme ve beslenme açısından uygun habitat koşulları sağlar. Bu türlerin mikrobiyom bileşimleri ise hem bireysel sağlık durumları hem de sucul ekosistemlerin işleyişi hakkında önemli ekolojik ve biyolojik göstergeler sunmaktadır (Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018).

Bu çalışma, Tunceli'ye özgü tatlı su balıklarının mikrobiyom yapısını ve ekosistemle olan etkileşimlerini kapsamlı bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, mevcut literatürdeki bilgi eksikliklerini gidermeyi ve gelecekte yapılacak araştırmalar için sağlam bir bilimsel temel sunmayı hedeflemektedir. Mikrobiyom ile balık ve ekosistem arasındaki ilişkilerin anlaşılması, bölgesel su ürünleri yetiştiriciliğinin geliştirilmesi ve ekosistem sağlığının izlenmesi açısından büyük önem taşır. Dolayısıyla, bu çalışma yalnızca temel ekoloji ve mikrobiyoloji alanlarına katkı sağlamakla kalmayıp, Tunceli gibi nispeten bozulmamış tatlı su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi ve korunmasına yönelik rehber niteliği de taşımaktadır.

1.1.Tatlı Su Ekosistemlerinin Ekolojik ve Mikrobiyal Önemi

Tatlı su ekosistemleri, göller, akarsular, kaynak suları, baraj gölleri ve sulak alanlar gibi çeşitli habitatları kapsayan, ekolojik açıdan kritik öneme sahip sucul sistemlerdir. Dünya üzerindeki toplam suyun yalnızca küçük bir kısmını oluşturmasına rağmen, bu sistemler biyolojik çeşitliliğin önemli bir bölümünü barındırmaktadır (UNESCO, 2023; Reid ve ark., 2019). Bu çeşitlilik besin zincirinin temelini oluşturan fito ve zooplankton gibi organizmalar başta olmak üzere balık, amfibi, omurgasız ve sucul bitkileri içine almaktadır. Tatlı su ekosistemlerinde, mikroorganizmalar, bitkiler, omurgasızlar ve balıklar arasındaki karmaşık madde ve enerji akışı, karbon, azot ve fosfor döngülerinin işleyişinde merkezi bir rol üstlenir ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından belirleyicidir (Dodds ve Whiles, 2020). Bu sistemlerdeki bakteri, arkea ve mikroskobik mantar gibi mikrobiyal topluluklar (mikrobiyom) organik madde ayrışımını düzenleyerek, besin elementlerinin geri dönüşümünü sağlayarak ve su kalitesini koruyarak balıklar ve diğer canlılar için yaşam koşullarını optimize eder (Newton ve ark., 2011).

Tatlı su ekosistemlerinde baskın mikrobiyal gruplar arasında yer alan Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteroidetes, Firmicutes ve Cyanobacteria, ekosistemin işlevsel döngülerinde temel roller üstlenir (Wu ve ark., 2012) (Çizelge 1). Actinobacteria türleri, hidrolitik enzimler gibi sekonder metabolitlerin (amilaz, proteaz ve lipaz vb.) iyi bilinen üreticileridir (Ventura ve ark. 2007). Fusobacteria türleri ise tatlı su balıklarında en sık görülen tür olarak raporlanmıştır (Kim ve ark. 2021). Bu bakteriyel gruplar, organik maddenin biyolojik parçalanması, azotun sabitlenmesi ve fotosentetik süreçlerle enerji dönüşümünde görev alarak ekosistemin

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

biyokimyasal dengesine katkıda bulunmaktadır (Newton ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2022). Arkeal topluluklar genellikle dip çamurunda yoğunlaşmakta ve özellikle Methanobacteriales ile Thaumarchaeota türleri aracılığıyla metan sentezi ve amonyak oksidasyonu süreçlerinde yer alarak karbon ve azot döngülerine katılım sağlamaktadır (Grossart ve Simon, 2007). Protist mikrobiyomu içinde bulunan diatom ve yeşil alg gibi fotosentetik algler ise oksijen üretimini gerçekleştirirken, heterotrof protistler (ciliatlar, flagellatlar vb.) bakterilerle beslenerek mikrobiyal dengenin sürekliliğini sağlamaktadır. Tatlı su mantar topluluklarından olan Ascomycota ve Chytridiomycota üyeleri ölü organik materyalin bozunması ve karbon çevriminde önemli bir ekolojik fonksiyon üstlendiği bilinmektedir (Grossart ve ark., 2019). Ekosistemlerde bulunan virüsler (bakteriyofaj ve alg vb.) mikrobiyal popülasyonların kontrolünü sağlayarak organik karbonun çözünmüş formlara geçişine aracılık etmektedir (Zhang et al., 2022). Tüm bu mikrobiyal bileşenler, tatlı su ekosistemlerinin üretkenliği, biyolojik çeşitliliği ve işlevsel dengesini sürdüren bütüncül bir yapı oluşturmaktadır. Mikrobiyomun yapısal çeşitliliğinin incelenmesi ise su kalitesi, ekosistem sağlığı ve çevresel değişimlerin izlenmesi açısından güvenilir bir biyolojik gösterge olarak değerlendirilmektedir (Newton ve ark., 2011; Grossart & Simon, 2007; Grossart ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2022).

Çizelge 1. Tatlı su ekosistemlerinde baskın mikrobiyal türler ve ekolojik roller

Mikrobiyom Grubu	Baskın Tür/Filum Örnekleri	Ekolojik Rol / Fonksiyon	Bulunduğu Ortam	Kaynak
Bakteriler	*Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Cyanobacteria*	Organik madde döngüsü, azot fiksasyonu, fotosentez, kirleticilerin biyolojik parçalanması	Su sütunu, planktonik alanlar, balık mikrobiyotası	Newton ve ark., 2011; Zhang ve ark., 2022
Arkealar	*Methanobacteriales*, *Methanosarcinales*, *Thaumarchaeota*	Metanojenik aktivite (CH_4 üretimi), amonyak oksidasyonu, azot döngüsü	Sediment tabakaları, oksijensiz bölgeler	Grossart & Simon, 2007
Protistler	*Diatomaceae*, *Chlorophyta*, *Ciliophora*, *Euglenozoa*	Fotosentez, oksijen üretimi, bakteriyel tüketim, besin ağı dengesi	Su kolonunda, fitoplankton ve zooplankton topluluklarında	Newton ve ark., 2011
Mantarlar (Fungi)	*Ascomycota*, *Basidiomycota*, *Chytridiomycota*	Ölü organik materyalin parçalanması, karbon döngüsüne katkı	Sediment, bitki materyali, su bitkileri yüzeyi	Grossart ve ark., 2019

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Virüsler	Bakteriyofajlar, *Cyanophage* türleri	Mikrobiyal popülasyon kontrolü, organik karbonun çözünmüş formlara dönüşümü (Viral Shunt)	Su kolonunda, plankton topluluklarında	Zhang ve ark., 2022
Balık Mikrobiyotası ile İlişkili Türler	*Firmicutes*, *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*	Sindirim, bağışıklık yanıtı, patojen kontrolü	Balık bağırsakları ve solungaç yüzeyi	Arslan ve ark., 2019

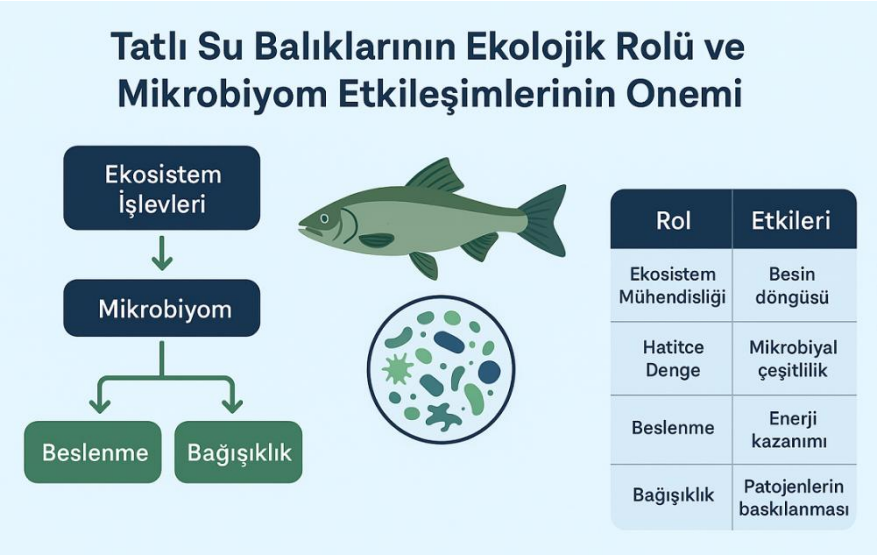
Çevresel değişimlerde ekosistem sağlığının biyolojik bir indikatörü olarak değerlendirilen balıklar ise hem üretici hem de tüketici düzeylerinde besin zincirinin kilit unsurlarını oluşturmakta özellikle solungaç, deri ve mukus tabakası üzerinden çevreyle sürekli etkileşimde bulunmaktadır (Austin, 2019). Bu nedenle mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları, çözünmüş oksijen düzeyleri, organik yük, antropojenik etkiler gibi birçok faktör üzerinde önemli bilgiler sunmaktadır (Görsel 1).

Görsel 1. Tatlı Su Ekosistemi ve Balık Mikrobiyomu

1.2. Tatlı Su Ekosistemlerinde Balıkların Ekolojik Rolleri ve Mikrobiyom Etkileşimleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Ekosistemlerin işleyişinde hayati rol oynayan tatlısı balıkları (gastrointestinal sistem, deri ve solungaçlarında bulunan mikrobiyal toplulukları sayesinde) yalnızca besin zincirinin orta ve üst düzeyini oluşturmakla kalmaz, aynı zamanda enerji akışı, besin maddelerinin dönüşümü, organik maddenin ayrışması ve habitat dengesinin korunmasında belirleyici görevler üstlenmektedir (Matthews, 1998). Bunun yanında ekosistem mühendisleri olarak görevlerde üstlenmektedir. Genellikle bentik olan türler (Barbus ve Capoeta türleri) tabanda biriken organik maddeleri karıştırarak sediment mikrobiyotasının dağılımını değiştirmekte ve besin döngüsünü hızlandırmaktadır (Görsel 2) (Egerton ve ark., 2018; Ringø ve ark., 2016). Otobur ve omnivor balıklar ise bitki ve detritus ağırlıklı diyetleriyle bağırsak mikrobiyomunda selüloz ve kompleks polisakkaritleri parçalayabilen bakterilerin gelişimini teşvik ederek hem balığın enerji kazanımı arttırmakta hem de karbon döngüsü desteklemektedir (Vanni, 2002; Llewellyn ve ark., 2014).



Görsel 2. Tatlı su balıklarının Ekolojik rolü ve mikrobiyom etkileşimlerinin önemi

Tatlı su balıklarında yaygın olarak bulunan mikrobiyal türler arasında Aeromonas, Enterobacter, Pseudomonas gibi Proteobacteria; Lactobacillus ve Streptococcus gibi Firmicutes; Micrococcus dahil olduğu Actinobacteria, Flavobacterium ve Chryseobacterium gibi Bacteroidetes bulunur (Deb ve ark. 2020; Givens ve ark. 2015; Sullam ve ark. 2012, Wu ve ark. 2012) ki bu bakteriler balıkların çevresel değişimlere adaptasyonunda kritik rol oynamaktadır. Balıklardaki bağırsak mikrobiyotası, büyüme ve üretimin düzenlemesinde önemli roller üstlenmektedir (Butt ve Volkoff 2019, Liu ve ark., 2021). Yapılan bir araştırmada tilapia ve sazan gibi bazı tatlı su balıklarının gastrointestinal sisteminde bulunan Gram-negatif mikro aerotolerant bir bakteri olan *Cetobacterium somerae*, büyük miktarda B12 vitamini

ürettiği bildirilmiştir (Tsuchiya ve ark., 2008). Buda gösteriyor ki büyüme ve enerji ihtiyaçları için protein fermantasyonu ve amino asit emilimi *C. somerae* bakterisi ile mümkün olmaktadır (Li ve ark., 2015). Bir diğer ifadeyle balık bağırsak mikrobiyomu, birçok tatlı su balığında (sazan, tilapia, yayın gibi) bağırsak sağlığı, enerji metabolizması, genel refah gibi birçok faktörün işleyişinde etkin tol oynamaktadır. Ayrıca, mikroorganizmalar arasındaki ilişkilerin ve mikrobiyal etkileşimin yanı sıra karmaşık mikrobiyotanın işlevlerini ve çeşitliliğini anlamaya yardımcı olabilecek birçok gerçeği ortaya çıkarabileceği içinde önemli bir araştırma alanı olarak bilinmektedir (Ruiz ve ark., 2024; West ve ark., 2019). Balıklarda karmaşık karbonhidratların parçalanması ikincil metabolitlerin detoksifiye edilmesi içinde *Aeromonas sobria, A. veronii, A. hydrophila, Enterobacter aerogenes, E. ludwigii* gibi bakterilere ihtiyaç olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir (Saha ve ark. 2006, Ray ve ark., 2012, Ye ve ark. 2014). Otçul ve hepçil balıklarda, selülozun parçalanması *Bacillus circulans ve B. megaterium* gibi mikroplar tarafından hızlandırılabildiği raporlanmıştır (Saha ve ark. 2006). Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes ve Actinobacteria gibi bakteri grupları gökkuşağı alabalığının bağırsak mikrobiyomunun çoğuna hâkim olarak bildirilmiştir (Betiku ve ark. 2023). Ot sazanının bağırsak mikrobiyomunda ise Aeromonas, Bacillus, Clostridium, Bacteroides ve lactobacilli gibi bakteriler bulunduğu ifade edilmiştir (Wu ve ark. 2012). Bu da demek oluyor ki balıkların beslenme düzenleri, yaşadıkları çevre ve mevcut besin kaynakları içinde bulunduğu ekosistemden dolaylı olarak etkilenmektedir. Daly ve ark. (19), sazan ve gökkuşağı balıklarının bağırsak mikrobiyotası üzerinde yaptıkları çalışmada farklı yetiştirme ortamlarına rağmen iki balık türü için de bakteri topluluğunun tür içi tekdüzeliğini koruduğunu ve konak seçiciliğinin önemli olduğunu raporlanmıştır. Sekiz balık türünün bağırsak içeriklerinin araştırıldığı bir diğer çalışmada etçil ve otçul balıklarda farklı bağırsak bakteri toplulukları bulunduğu gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre Clostridium, Citrobacter ve Leptotrichia gibi selülozu parçalayan bakteriler açısından zengin olan otçu balıklarla, Cetobacterium ve Halomonas türlerince baskın olan etçil balıklar bildirilmiştir (degipak 2018). Yüksek sıcaklıklarda yaşayan balıklarda Mycoplasma, Firmicutes ve Tenericutes bolluğunun önemli ölçüde arttığı Zhou ve ark. (2022) tarafından belirlenmiştir. Yun ve ark. (2021), Hypomesus nipponensis türü ile çalışmışlar deri ve bağırsak mikrobiyomlarının farklı olduğunu ve Firmicutes, Actinobacteria Proteobacteria, Bacteroidetes türlerinin dominant olduğunu raporlamışlardır. Bağırsak mikrobiyomu üzerinde yapılan bir diğer çalışmada Proteobacteria ve Firmicutes türleri bildirilmiştir (Sullam ve ark., 2021). Son yıllarda araştırmalar bu konu üzerinde yoğunlaşmış özellikle habitat, diet, üretim vb. etkenlerin mikrobiyom çeşitliliğini

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

etkilediği saptanmıştır (Cheaib ve ark., 2024; Reid ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2022). Diwan ve ark., 2023) (Tablo 2).

1.3. Tunceli'nin Tatlısu Ekosistemleri ve Balık Türleri

Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Tunceli, ekolojik açıdan zengin tatlı su kaynaklarına sahiptir. Başlıca sucul habitatları Munzur ve Pülümür Çayları ile Uzunçayır Baraj Gölü'nden oluşmaktadır. Bu alanlar hem akarsu hem de göl ekosistemi özelliklerini bir arada taşımakta soğuk, berrak ve düşük besin yüküne sahip akarsularıyla endemik balık türleri ve hassas mikrobiyal topluluklar için kritik yaşam alanları sağlamaktadır (Tablo 3). Bunun yanında yüksek çözünmüş oksijen oranları, mevsimsel sıcaklık dalgalanmaları ile sınırlı insan etkisi sayesinde doğal ekosistem işlevlerinin sürdürülmesine katkıda bulunmaktadır (Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018; UNESCO, 2023).

Bölgedeki tatlı su sistemleri hidrolojik ve kimyasal heterojenlik açısından dikkat çekicidir; hızlı akışlı akarsular balıkların metabolizmasını ve besin dönüşümünü desteklemekte, mikrobiyal çeşitliliğin korunmasına olanak tanımaktadır. Baraj gölleri ise derinlik, organik madde birikimi ve termal stratifikasyon gibi faktörlerle farklı mikrobiyal ve balık habitatları sunmaktadır. Bu sistemlerde özellikle Tunceli'ye özgü endemik ve bölgesel türler olan Munzur alabalığı (*Salmo trutta macrostigma*), tatlı su kefali (*Capoeta capoeta*), siraz (*Barbus escherichii*) ve diğer yerel türler yaygın olarak gözlemlenmekte, bu çeşitlilik balıkların farklı alanlarda ve habitatlarda dağılımını ve bağırsak mikrobiyomu ile ekosistem mikrobiyal yapısı arasındaki etkileşimleri incelemek için doğal bir laboratuvar sağlamaktadır (Dodds & Whiles, 2020; Grossart ve ark., 2020).

Çizelge 2. Tunceli İl'i Tatlı Su Kaynakları Balık Faunası, Ekosistem Özellikleri ve Kaynakları

Familya	Tür Adı (Bilimsel Ad, Yazar, Yıl)	Bulunduğu Ekosistemin Özellikleri	Kaynak
Salmonidae	*Salmo munzuricus*	Soğuk, hızlı akıntılı, yüksek oksijenli dağ derelerinde yaşar. Çakıllı ve taşlı tabanlı, temiz sulu habitatları tercih eder (Munzur ve Pülümür çayları).	Yerlikaya ve Turan, 2016
Salmonidae	*Salmo trutta macrostigma* (Dumeril, 1858)	Soğuk, hızlı akıntılı, yüksek oksijenli dağ derelerinde yaşar. Çakıllı ve taşlı tabanlı, temiz sulu habitatları tercih eder (Munzur ve Pülümür çayları).	Çoban ve ark., 2013; Geldiay & Balık, 2009; Yerlikaya ve Turan, 2016

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Cyprinidae	*Acanthobrama marmid* (Heckel, 1843)	Baraj gölleri ve büyük nehirlerin durgun kesimlerinde yaşar. Ilıman sıcaklıklarda, orta akıntılı, siltli veya kumlu zeminli bölgelerde bulunur.	Çoban ve ark., 2013; Kuru, 2004; Ekmekçi ve ark., 2013; FishBase, 2025
Cyprinidae	*Alburnoides bipunctatus* (Bloch, 1782)	Hızlı akıntılı, temiz, oksijen bakımından zengin akarsularda yaşar. Çakıllı ve taşlık alt tabanları tercih eder.	Çoban ve ark., 2013; Geldiay & Balık, 2009
Cyprinidae	*Alburnus mossulensis* (Heckel, 1843)	Akarsuların yavaş akıntılı ve göl tipi bölümlerinde bulunur. Genellikle yüzey sularında, planktonca zengin alanlarda yaşar.	Çoban ve ark., 2013; Ekmekçi ve ark., 2013; Kuru, 2004
Cyprinidae	*Barbus lacerta* (Heckel, 1843)	Orta akıntılı nehirlerde ve baraj çevresi akıntı zonlarında yaşar. Çakıllı, kumlu ve taşlık tabanlı, temiz suları tercih eder.	Çoban ve ark., 2013; Geldiay & Balık, 2009
Cyprinidae	*Capoeta trutta* (Heckel, 1843)	Orta–hızlı akıntılı, oksijen bakımından zengin akarsularda görülür. Taşlık ve çakıllı zeminlerde alglerle beslenir.	Çoban ve ark., 2013; Kuru, 2004; Geldiay & Balık, 2009; Ekmekçi ve ark., 2013
Cyprinidae	*Capoeta umbla* (Heckel, 1843)	Nehirlerin akıntılı kesimlerinde, taşlık ve çakıllı tabanlı bölgelerde yaşar. Hem göl hem nehir ortamına uyum sağlar.	Çoban ve ark., 2013; Kuru, 2004
Cyprinidae	*Chondrostoma regium* (Heckel, 1843)	Orta akıntılı, iyi oksijenlenmiş, çakıllı tabanlı nehirlerde yaşar. Genellikle nehirlerin üst ve orta kesimlerinde bulunur.	Çoban ve ark., 2013; Geldiay & Balık, 2009
Cyprinidae	*Cyprinus carpio carpio* (Linnaeus, 1758)	Durgun veya yavaş akıntılı göl, gölet ve baraj ortamlarında yaşar. Bitki örtüsü bol, çamurlu tabanlı suları tercih eder.	Çoban ve ark., 2013; Kuru, 2004; FishBase, 2025
Cyprinidae	*Squalius cephalus* (Linnaeus, 1758)	Orta akıntılı, temiz, iyi oksijenlenmiş nehirlerde yaşar. Taşlık ve kumlu tabanlı bölgelerde görülür.	Çoban ve ark., 2013; Geldiay & Balık, 2009
Nemacheilidae	*Oxynoemacheilus angorae* (Steindachner, 1897)	Soğuk, akıntılı, çakıllı tabanlı akarsularda yaşar. Genellikle nehir kollarında ve küçük derelerde bulunur.	Çoban ve ark., 2013; Kuru, 2004

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Tunceli tatlı su kaynaklarının akarsu özelliği taşıması dolayısıyla soğuk, akıntılı, yüksek değerli oksijen içeriği göstermesi balık populasyonlarının sağlıklı büyüme ve üreme potansiyelini doğrudan etkilemekte, mikrobiyal çeşitliliğin ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliği açısından kritik önem taşımaktadır; dolayısıyla Tunceli hem temel ekolojik araştırmalar hem de yetiştiricilik faaliyetleri ve mikrobiyom temelli üretim stratejileri için önemli bir alan olarak öne çıkmaktadır. Tunceli ekosistemine dahil hem su kaynakları hem de balık mikrobiyotası üzerine çalışmalar sınırlı da olsa çalışmalar yapılarak konunun önemi ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Tunceli'deki Munzur ve Pülümür Nehirlerinin mikrobiyal kontaminasyonu kapsayan bir araştırmada, *Pseudomonas aeruginosa*, koliform bakteriler, fekal *Escherichia coli* ve enterokokların varlığı tespit edilmiş; en az kontaminasyonun ilkbahar en yüksek kontaminasyonun ise yaz aylarında görüldüğü saptanmıştır (Yıldırım ve ark., 2010). Balık mikrobiyotası ile ilgili Gökhan ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışmada, Bingöl'de Murat Nehri'nden yakalanan balıklardan elde edilen 285 suşun %2,10'unu *Proteus vulgaris*'i temsil ettiği bildirilmiştir ki bu tür birçok ülkenin tatlı su balıklarında sindirim sisteminin doğal florasının baskın bir türü olarak bilinmektedir (Svanevik ve Lunestad, 2011). Bunun yanında yine aynı çalışmada Cytophaga/Flexibacter'in %4,21 olarak raporlanmıştır ki Flexibacter türleri balıkların doğal florasında bulunsa da uygun koşullar altında patojen karakter gösterebilmektedir (Gökhan ve ark., 2024). Yapılan bir diğer çalışmada Otay ve ark. (2015), Tunceli tatlı su kaynaklarında özellikle evsel ve mezbaha atıklarını içine alan seçili istasyonlardan yakaladıkları 200 balık üzerinde Chryseobacterium (Flavobacterium) scophthalmum ve Pseudomonas fluorescens türlerini izole ederek kirlilik ile bu bakterilerin ilişkili olduklarını raporlamışlardır. Tunceli'de Tatlısu balık çiftliklerinde Aeromonas türlerinin yaygınlığını üzerine yapılan araştırmada 5 Aeromonas türü saptanmış A. sobria'nın en yüksek olduğu, onu ise bunu A. veronii (%26,95), A. media (%12,06) ve A. hydrophila (%7,80)'nın takip ettiği bildirilmiştir (Tütmez ve ark., 2023). Gökkuşağı alabalığı yavrularında bakteriyel floranın incelendiği bir diğer çalışmada ise en yaygın türün Pseudomonas ve Aeromonas türleri olduğu saptanmıştır (Soler ve ark., 2004). Fowoyo ve Achimugu (2019) tarafından yapılan araştırmada tüm balıkların bağırsaklarında A. hydrophila'nın yaygın olduğu bildirilmiştir. Pülümür'deki hipersalin kaynak suyunda yaşayan arke ve bakteri türleri incelenmiş Rhodovibrio, Spiribacter, Salinivibrio, Halomonas, Idiomarina, Marinobacter, Natrinema ve Halohasta cinslerine ait türler belirlenmiştir (Çınar ve Mutlu, 2020).

KAYNAKÇA

1. Akademia.edu. (2020). Distribution of Mollusca fauna in the streams of Tunceli Province, East Anatolia, Turkey and its relationship with some physicochemical parameters.

2. Akpolat, C., et al. (2021). Prokaryotic communities in the Thalassohaline Tuz Lake, Turkey. Microorganisms, 9(7), 1525.

3. Arslan, M. Ö., Yılmaz, M., & Taşçı, G. T. (2015). Türkiye'nin Kuzey Doğu Anadolu Bölgesi Kars Platosundaki tatlı su balıklarında Ligula intestinalis enfeksiyonları. Türkiye Parazitoloji Dergisi, 39(3), 218–221.

4. Aydın, M. E., & Sivri, N. (2023). Biyoçeşitlilik ve Ekosistemler. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

5. Balta, F. (2020). Fırtına Deresi'ndeki gökkuşağı alabalığı çiftliklerinde Aeromonas spp. izolatlarının antimikrobiyel direnci. Anadolu Çevre ve Hayvan Dergisi.

6. Çakar, H. (2023). Balık bağırsak izolatı Sphingomonas sp.'nin probiyotik potansiyelinin araştırılması [Yüksek lisans tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi].

7. Çınar, S., & Mutlu, M. B. (2020). Prokaryotic diversity of a hypersaline spring water in Pülümür (Tunceli). Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(3), 127–134.

8. Çoban, M. Z., Gündüz, F., Yüksel, F., Demirol, N., Yıldırım, T., & Kurtoğlu, M. (2013). Uzunçayır Baraj Gölü (Tunceli) balık faunası. Yunus Araştırma Bülteni, 2013(2), 35–44.

9. DergiPark. (2018). Balıklardan izole edilen bakteriyel etkenler.

10. Ekmekçi, F. G., Turan, D., & Şaşmaz, M. (2013). Munzur ve Pülümür çaylarının balık faunası üzerine bir araştırma. Journal of FisheriesSciences.com, 7(4), 330–340.

11. Ersoy Ömeroğlu, E., et al. (2021). Microbial community of soda Lake Van as obtained from direct and enriched water, sediment, and fish samples. Scientific Reports.

12. Fowoyo, P. T., & Achimugu, F. (2019). Virulence of Aeromonas hydrophila isolated from fresh water catfish. Journal of Biosciences and Medicines, 7, 1–12.

13. Frontiers in Microbiology. (2024). Fish gut microbiome and its application in aquaculture and conservation. Frontiers in Microbiology.

14. Gökhan, H. B., İspir, Ü., Özcan, M., Şeker, E. (2024). A bacterial analysis of some fish caught in the Bingöl region of the Murat River. Journal of Global Health and Natural Science, 7(2), 190–199.

15. Kocatepe, D., Erkoyuncu, İ., & Turan, H. (2013). Su ürünleri kaynaklı patojen mikroorganizmalar ve zehirlenmeler. Yunus Araştırma Bülteni.

16. Kottelat, M., & Freyhof, J. (2007). Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin.

17. Liu, H., Guo, X., Gooneratne, R., Lai, R., Zeng, C., & Zhan, F. (2016). The gut microbiome and degradation enzyme activity of wild freshwater fishes influenced by their trophic levels. Scientific Reports, 6, 24340.

18. MDPI. (2023). Fish gut microbiome analysis provides insight into the role of gut microbiomes in the interaction between an indigenous fish and an invasive species. Animals, 13(15), 2413.

19. Microbiome Journal. (2021). Diversity of gut microbiomes in marine fishes is shaped by host habitat, not host phylogeny. Microbiome, 9, 1–14.

20. Mutlu, M. B., et al. (2008). Prokaryotic diversity in Tuz Lake, a hypersaline environment. FEMS Microbiology Ecology, 65(3), 474–485.

21. ResearchGate. (2017). C-reactive protein and adrenomedullin levels in Capoeta umbla (Heckel, 1843) as novel bioindicators for biomonitoring the microbial contamination in inland waters of Tunceli, Turkey.

22. ResearchGate. (2017). Balık beslemede biyoteknolojik uygulamalar.

23. ScienceDirect. (2023). The fish microbiota: Research progress and potential applications. ScienceDirect.

24. Soler, L., Yanez, M. A., Chacon, M. R., Aguilera-Arreola, M. G., Catalan, V., Figueras, M. J., & Martínez-Murcia, A. J. (2004). Phylogenetic analysis of the genus Aeromonas based on two housekeeping genes. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 54, 1511–1519.

25. Svanevik, C. S., & Lunestad, B. T. (2011). Characterisation of the microbiota of Atlantic mackerel (Scomber scombrus). International Journal of Food Microbiology, 151(2), 164–170.

26. Tunceli İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. (2012). Uzunçayır Baraj Gölü balıklandırma ve su ürünleri yetiştiriciliği projesi raporu. Tunceli, Türkiye.

27. Turan, D., Kottelat, M., & Bektaş, Y. (2011). Capoeta species in eastern Anatolia (Teleostei: Cyprinidae), with description of two new species. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 22(3), 275–289.

28. Türkiye Bilimler Akademisi. (2023). Biyoçeşitlilik, tarım ve gıda. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları.

29. Tütmez, Ç. S., Özbey, Ü., Tanrıverdi, E. İ., Aksu, Ö., Otlu, B., & Özbey, G. (2023). Identification of Aeromonas species in trout in Tunceli province by MALDI-TOF MS method. Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology, 30(11), e346–e356.

30. Yerlikaya, M., & Turan, D. (2016). Salmo munzuricus sp. nov., a new trout species from the Munzur River, Turkey (Teleostei: Salmonidae). Zootaxa, 4083(4), 529–540.

31. Yıldırım, N., Cikcikoğlu Yıldırım, N., Kaplan, O., Öztufekci Önal, A., & Taylan, N. (2010). Variations in microbiological water quality of the Munzur and Pulumur River, Tunceli, Turkey at spring and summer seasons. Current Research Journal of Biological Sciences, 2(5), 352–355.

32. Zhou, C., Yang, S., Ka, W., Gao, P., Li, Y., & Long, R. (2022). Association of gut microbiota with metabolism in rainbow trout under acute heat stress. Frontiers in Microbiology, 13, 846336.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HYPOADRENOCORTICISM IN CATS AND TREATMENT OPTIONS

Prof. Dr. BAŞAK HANEDAN

Atatürk University Faculty of Veterinary Medicine, Department of Internal Medicine, Erzurum, Türkiye, fbhanedan@gmail.com, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3873-0124

ABSTRACT

Hypoadrenocorticism can be classified as primary or secondary. Primary hypoadrenocorticism (Addison's disease) is a result of adrenal cortex dysfunction. The cause of the disease is unknown, but it may be autoimmune in nature. It results from insufficient production of glucocorticoids or mineralocorticoids, or both. Secondary hypoadrenocorticism results from low secretion of adrenocorticotropic hormone (ACTH) from the pituitary gland. It may occur following iatrogenic suppression of ACTH secretion through the administration of corticosteroids and progesterone hormones (such as megestrol acetate). Within the scope of this paper, the etiology, clinical findings, diagnosis, treatment, and clinical reports of hypoadrenocorticism in cats were extensively examined using scientific sources from recent years. Additionally, comprehensive information was provided on therapeutic drugs and combinations to facilitate practical use for clinician veterinarians.

Keywords: Feline, hypoadrenocorticism, treatment

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

KEDİLERDE HİPOADRENOKORTİSİZM VE SAĞALTIM SEÇENEKLERİ

ÖZET

Hipoadrenokortisizm; primer ya da sekonder olarak sınıflandırılabilir. Primer hipoadrenokortisizm (Addison hastalığı) adrenal korteksin fonksiyon bozukluğunun bir sonucudur. Hastalığın nedeni bilinmemektedir, ancak otoimmün nedenli olma ihtimali vardır. Glukokortikoit ya da mineralokortikoit ya da her 2'sinin üretim yetersizliğinden kaynaklanır. Sekonder hipoadrenokortisizm; adrenokortikotropik hormonun (ACTH) hipofiz bezinden düşük düzeyde sekresyonundan kaynaklanır. Kortikosteroitler ve progesteron hormonlarının (megestrol asetat gibi) uygulanması aracılığıyla ACTH sekresyonunun iatrojenik baskılanmasından sonra meydana gelebilir. Bu bildiri kapsamında kedilerde hipoadrenokortisizmin etiyoloji, klinik bulgular, tanı, sağaltım ve klinik bildirimleri son yıllara ait bilimsel kaynaklarla geniş şekilde irdelendi. Ayrıca klinisyen veteriner hekimlere pratik yönden kolaylık sağlaması bakımından sağaltıma yönelik ilaç ve kombinasyonlarına yönelik kapsamlı bilgi verildi.

Anahtar kelimeler: Kedi, hipoadrenokortisizm, sağaltım

Giriş

Hipoadrenokortisizm; primer ya da sekonder olarak sınıflandırılabilir (Fowlie ve ark., 2018). Primer hipoadrenokortisizm (Addison hastalığı) adrenal korteksin fonksiyon bozukluğunun bir sonucudur. Hastalığın nedeni bilinmemektedir, ancak otoimmün nedenli olma ihtimali vardır. Glukokortikoit ya da mineralokortikoit ya da her 2'sinin üretim yetersizliğinden kaynaklanır. Adrenal beze lenfosit infiltrasyonu 2 kedide bildirilmiş olup, bu hastalığın kedilerde otoimmün nedenli olma durumunu desteklemiştir (Peterson ve ark., 1989; Roberts ve Dobromylskyj, 2022; Glebocka ve Boag, 2024).

Sekonder hipoadrenokortisizm; adrenokortikotropik hormonun (ACTH) hipofiz bezinden düşük düzeyde sekresyonundan kaynaklanır (Fowlie ve ark., 2018). Kortikosteroitler ve progesteron hormonlarının (megestrol asetat gibi) uygulanması aracılığıyla ACTH sekresyonunun iatrojenik baskılanmasından sonra meydana gelmiştir (Middleton ve ark., 1987).

Ayrıca hipoadrenokortisizm; travma, adrenal beze lenfoma infiltrasyonuyla meydana gelebilir (Ward, 2015). Adrenal bez karsinomasına bağlı olarak serum aldosteron yoğunluğu yüksek bir kedide operasyondan sonra hipoaldosteronizm bildirilmiştir (Bouccara ve ark., 2024).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Klinik Bulgular

Halsizlik, iştahsızlık, canlı ağırlık kaybı, vücut sıcaklığında düşme, daha az yaygın şekilde kusma, çok su içme/çok idrar yapma, iyileşme/kötüleşme, dehidrasyon, yutma güçlüğü, konstipasyon, kas koordinasyon bozukluğu, arka ekstremitelerde halsizlik, karın ağrısı, solunum sayısında artma, nöbet, kalpte üfürüm sesleri, kapiller geri dolum süresinde uzama, nabızda zayıflama görülen bulgulardır (Oron ve ark., 2014; Fowlie ve ark., 2018; Glebocka ve Boag, 2024). Kedilerde genellikle ishal görülmez. Dakikada kalp atım sayısında azalma, tansiyon düşüklüğü belirlenir. Kan üre yoğunluğunda hafif artış saptanabilir (Jung ve ark., 2022). Tümörün varlığında davranış değişikliklerinden huzursuzluk, gerginlik, depresyon, zihinsel değişiklikler, dengesiz davranış, etrafında dönme, saldırganlık görülür (Radosta, 2024).

Tanı

Kedi; hasta ve streste olmasına rağmen hemogramda, stres lökogram belirlenmez. Primer hipoadrenokortisizmi olan kedilerde lenfosit ve eozinofil artışı gözlenir. Bazı kedilerde stres lökogram gelişir. Bütün kedilerde kan sodyum yoğunluğunda azalma, kan potasyum yoğunluğunda artma ya da her 2 durum da şekillenir. Düşük sodyum/potasyum oranı (<27:1) hipoadrenokortisizmin tanısını desteklemek için kullanılır. Kan klor yoğunluğunda azalma ve kan potasyum yoğunluğunda artma da belirtilmiştir. Aldosteron yetersizliğine bağlı olarak su kaybı ve dehidrasyondan dolayı prerenal azotemi meydana gelir. Daha kronik gelişimde geriye dönüşümü olmayan böbrek hasarı görülebilir. Glukokortikoit yetersizliğinden dolayı kan glikoz yoğunluğu düşüktür. Seyrek olarak kan albümin ve kolesterol yoğunluğu düşüktür. Kan kalsiyum yoğunluğunda artma ve kan potasyum yoğunluğunda artma eş zamanlı gelişebilir. Kan kortizol yoğunluğunun düşüklüğü idrarla kalsiyum atılmasını azaltabilir. Hipoadrenokortisizmi olan kedilerde tanısal görüntüleme bulgularını raporlayan sistematik çalışma mevcut değildir.

Hipoadrenokortisizm tanısı konulan bir kedide kan potasyum yoğunluğunda artmayla uyumlu elektrokardiyografik değişiklikler (dakikada kalp atım sayısında azalma, QRS komplekslerinde genişleme, büyük sivri T dalgaları ve P dalga amplitüdünde düşme bildirilmiştir (Spalla ve ark., 2014). Sinüs nodu kaynaklı kalp hızında azalma ve prematüre atriyal kasılmalar bazı hasta kedilerde belirlenmiştir (Peterson ve ark., 1989).

Primer ve sekonder hipoadrenokortisizmi ayırt etmek için endojen ACTH'ın ölçülmesi gerekir. Primer hipoadrenokortisizm durumunda kan ACTH yoğunluğu artar, sekonder

hipoadrenokortisizm durumunda plazma ACTH yoğunluğu normal, düşük ya da saptanamaz düzeylerdedir (Reimann ve ark., 2018).

Kedilerde hipoadrenokortisizmin tanısını koymak için en doğru test ACTH yanıt testidir. ACTH enjeksiyonundan 60 ve 90 dakika sonra kan örnekleri alınır (Idexx, 2023). Tetrakosaktit 125 µg/kedi dozu ven içi sıklıkla kullanılmaktadır (DeClue ve ark., 2011; Glebocka ve Boag, 2014; Fowlie ve Ramsey, 2023). Primer hipoadrenokortisizmde plazma ACTH yoğunluğu önemli düzeyde yüksektir (Tardo ve ark., 2021). Çalışmalarda ortanca plazma ACTH yoğunluğu 2200 pg/ml belirlenmiştir (referans aralıkları: 10-370 pg/ml) (Stonehewer ve Tasker, 2001; Fowlie ve ark., 2018). Sağlıklı kedilerde kan ACTH yoğunluğu 24-400 pg/ml ve primer hipoadrenokortisizmde ise >1250 pg/ml düzeylerinde saptanmıştır (Tardo ve ark., 2021).

Ayırıcı Tanı

Kedilerin hipoadrenokortisizminin ayırıcı tanıları böbrek hastalığı, mide-bağırsak hastalığı, nekrotize pankreatitis, akut hepatitis, diabetik ketoasidozis, diğer kalp-damar, sinir ve kas ya da metabolik halsizlik nedenlerini kapsar. Hastada kan kalsiyum yoğunluğu yüksekse tümör ya da hiperparatroidizm dikkate alınabilir. Kan Na/K oranında azalma; hipoadrenokortisizmden başka vücut boşluklarına sıvı birikimlerinde de görülür (Jung ve ark., 2022; Fowlie ve ark., 2018).

Sağaltım

Akut hipoadrenokortisizmin sağaltımında ven içi sıvı uygulaması plazma hacmini artırmak, kan sodyum düzeyini artırmak ve kan potasyum düzeyini azaltmak için kullanılır. %0.9 NaCl ilk aşamada tercih edilen sıvıdır. Elektrolit yoğunlukları 2-6 saatte 1 kez ölçülür. Hipoadrenokortisizmde olduğu gibi kronik kan sodyum düzeylerinde düşüklük durumlarında sodyum yoğunluklarının 12 mmol/l/gün (0.5 mmol/l/saat)'den fazla artırılmaması gerekir, bu durumda %0.45 NaCl solüsyonları daha uygundur. Hasta kedilerde kan üre düzeyi düzelince ve yemek yeme ve su içme istemli olunca sıvı sağaltımı durdurulabilir (Fowlie ve Ramsey, 2023).

Tek doz ven içi dekzametazon tavsiye edilir ve ACTH yanıt testini etkilemez. Hidrokortizon; mineralokortikoit ve glukokortikoit etkinliktedir. Sodyum ve potasyum yoğunluklarının düzeltilmesinde kullanılır. Hidrokortizon (0.5-0.625 mg/kg/saat dozda) sürekli infüzyon şeklinde kullanılabilir (Fowlie ve Ramsey, 2023).

Kedilerde uzun süreli mineralokortikoit sağaltım tercihleri ağızdan fludrokortizon (0.1 mg/kedi/gün) ya da enjeksiyon şeklinde dezoksikortikosteron pivalat (2.2 mg/kg) ve ağızdan prednizolon (0.2 mg/kg/gün) kombinasyonu şeklindedir (Fowlie ve Ramsey, 2023).

Klinik Bildirimler

Halsizlik ve iştahsızlık nedeniyle muayeneye getirilen 2 kedinin klinik muayenesinde vücut sıcaklığında düşme ve dehidrasyon, kan sodyum yoğunluğunda azalma ve kan potasyum yoğunluğunda artma, 1 kedide kan kalsiyum yoğunluğunda artma, 1 kedide kan üre yoğunluğunda artma tespit edilmiş, her 2 kedide ACTH yanıt testi adrenal bezlerin uyarılmasının yetersiz olduğunu göstermiş, 1 kedide kan ACTH yoğunluğu yüksek ölçülmüş, her 2 kedi dezoksikortikosteron pivalat ve prednizolon (0.15 mg/kg, günlük) kombinasyonuyla başarılı şekilde sağaltılmış, 1 kediye dezoksikortikosteron pivalat 2.6 mg/kg dozda 30 günde 1 kez, 1 kediye 2.2 mg/kg dozda, 28 günde 1 kez uygulanmış olduğu belirtilmiştir (Reimann ve ark., 2018).

On üç yaşında bir kedi 2 ay süredir halsizlik, iştahta azalma, aralıklı yumuşak dışkılama, son 2 haftada tam iştahsızlık bulgularıyla getirilmiş, kan nötrofil sayısında artma, kan sodyum ve klor yoğunluğunda azalma, kan potasyum yoğunluğu normal üst referans değerlerinde, Na/K oranı 24 belirlenmiş, ACTH testi öncesi kortizol düzeyi 36 nmol/l (referans aralık: 14-138 nmol/l), ACTH yanıt testi sonrasında kortizol düzeyi 41 nmol/l (referans aralık: 124-359 nmol/l), ACTH testi öncesi aldosteron <20 pmol/l (referans aralık: 87-224 pmol/l), ACTH sonrası aldosteron düzeyi <20 pmol/l (referans aralık: 149-451 pmol/l), endojen ACTH yoğunluğu 1469 pg/ml (referans aralık: 38-176 pg/ml) belirlenmiş, sağaltımda ven içi %0.9 NaCl 4 ml/kg/saat, hidrokortizon (2 mg/kg, 6 saatte 1 kez, 24 saat süreyle), dezoksikortikosteron pivalat (2.2 mg/kg, deri altı, 28 günde 1 kez), dekzametazon (0.1 mg/kg, ven içi, tek doz), 48 saat sonra iştahta düzelme, prednizolon (1 mg/kg, ağızdan, 24 saatte 1 kez) ve ek enfeksiyon varlığından dolayı amoksisilin-klavulanat uygulanmış, kedinin 6 aylık takiplerinden sonra iyi olduğu bildirilmiştir (Fowlie ve ark., 2018).

Bir yaşında bir kedi kusma, zayıflama, iştahsızlık, çok idrar yapma nedeniyle muayeneye getirilmiş, tansiyon ve kalp atım sayısında azalma, idrarın dansitesinde azalma, simetrik dimetil arjinin normal düzeyin hafif üzerinde, serum troksin, felin pankreatik lipaz immünreaktivite normal düzeylerde, serum sodyum yoğunluğunda azalma, serum potasyum yoğunluğunda artma, Na/K oranı 24.7 belirlenmiş, ACTH yanıt testinden önce kan kortizol yoğunluğu 1.55 µg/dl (referans aralık: 0.4-4 µg/dl), ACTH stimülasyon testinden sonra kan kortizol yoğunluğu 1.73 µg/dl (referans aralık: 4.5-15 µg/dl), endojen ACTH yoğunluğu 201.4

pg/ml (referans aralık: 0-60 pg/ml) ve adrenal fonksiyon testlerine göre primer hipoadrenokortisizm tanısı konulmuş, dezoksikortikosteron pivalat (2.2 mg/kg, deri altı) ve prednizolon (0.25 mg/kg, ağızdan günde 2 kez) uygulamasından 12 gün sonra kedinin iyileştiği gösterilmiştir (Jung ve ark., 2022).

Altı yaşında bir kedi iştahsızlık, kronik konstipasyon, aralıklı kusma, zayıflama, halsizlik nedeniyle ven içi sıvı, antimikrobiyal, lakzatif, iştah uyarıcı megestrol asetat uygulanmış ve bu uygulamadan sonra diabetes mellitus gelişmiş, kan klor, sodyum yoğunluğunda azalma, potasyum yoğunluğunda artma, NA/K oranı 19.6 belirlenmiş, prednizolon kronik şekilde kullanıldığı için kan kortizol yoğunluğu yorumlanamamış, ACTH yanıt testinde test öncesi ve sonrası aldosteron yoğunlukları düşük düzeyde ve hipoadrenokortisizmle uyumlu olduğu saptanmış, prednizolon azaltılan dozlarda, fludrokortizon ve insülin sağaltımının sürdürüldüğü belirtilmiştir (Oron ve ark., 2014).

Altı yaşında bir kedi zayıflama, iştahta azalma, kusma, ishal nedeniyle muayeneye getirilmiş, kediye primer hipoadrenokortisizm, ekzokrin pankreas yetmezliği, kobalamin eksikliği, kronik bağırsak hastalığı tanısı konulmuş, 4.5 ay sonra diabetes mellitus meydana gelmiş ve insülin sağaltımı başlatılmış, hipoadrenokortisizm tanısından 10 ay sonra sürekli epilepsi nöbetinden dolayı uyutulmuş, adrenal bezlerin histopatolojik muayenesinde lenfoplazmasitik adrenal bez yangısı, immünhistokimyasal muayenede T hücre bakımından zengin lenfosit infiltrasyonu gösterilmiştir (Roberts ve Dobromylskyj, 2022).

On yaşında bir kedi halsizlik ve iştahsızlık bulgularıyla muayeneye getirilmiş, kan potasyum yoğunluğu 5.1 mmol/l (referans aralıklar: 3.4-5.6 mmol/l), kan sodyum yoğunluğunda şiddetli azalma 123 mmol/l (referans aralıklar: 145-158 mmol/l), Na/K oranı 24 belirlenmiş, ACTH uyarı testinden önce serum aldosteron düzeyinde azalma görülmüş, abdominal ultrasonografide adrenal bezler büyük izlenmiş, ince iğne aspirasyon biyopsisi ile lenfoma tespit edilmiştir (Romine ve ark., 2016).

Adrenal bez karsinomu operasyonla alınan bir kedide hipoaldosteronizm nedeniyle dezoksikortikosteron pivalat (1.5 mg/kg dozda, deri altı) ve prednizolon (0.28 mg/kg dozda, ağızdan, 24 saatte 1 kez) uygulanmış, uygulamadan 15 gün sonra Na/K oranı normal düzeylerde belirlenmiş, dezoksikortikosteron pivalat 6 doz uygulanmış ve prednizolon azaltılan dozlarla 6 ay sonra durdurulmuş, son dezoksikortikosteron pivalat uygulamasından 640 gün sonra kedinin klinik olarak normal olduğu bildirilmiştir (Bouccara ve ark., 2024).

On sekiz aylık genç bir kedide iştah azalması, halsizlik, yutkunma bulgularıyla muayeneye getirilmiş, Na/K oranı 26, ultrason muayenesi çift taraflı adrenal bezde büyümeyi ve sitolojik muayene adrenal bezlerde yangıyı göstermiş, hipoadrenokortisizm tanısı

doğrulanmış, prednizolon ve dezoksikortikosteron pivalatla sağaltılabilmiştir (Manson ve ark., 2023).

Kaynaklar

Bouccara, L., Dunie-Merigot, A., Poujol, L., Blond, L., & Jolivet, F. (2024). Long-lasting hypoaldosteronism after adrenalectomy in a cat with hyperaldosteronism. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*, *10*(1), 20551169241243012.

DeClue, A. E., Martin, L. G., Behrend, E. N., Cohn, L. A., Dismukes, D. I., & Lee, H. P. (2011). Cortisol and aldosterone response to various doses of cosyntropin in healthy cats. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *238*(2), 176-182.

Fowlie, S. J., McKenzie, J., & Ramsey, I. (2018). Hypoadrenocorticism in an aged cat. *Veterinary Record Case Reports*, *6*(1), e000565.

Fowlie, S., Ramsey, I.K. (2023). Chapter 31. Feline hypoadrenocorticism. In: Mooney, C. T., Peterson, M. E., Shiel, R. E. (eds), BSAVA Manual of Canine and Feline Endocrinology, British Small Animal Veterinary Association Publications, fifth edition, p. 303-308.

Glebocka, M. J., & Boag, A. (2024). Hypoadrenocorticism in cats: a 40-year update. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, *26*(9), 1098612X241248381.

Idexx. Feline ACTH stimulation test protocol. https:// www.idexx.co.uk/en-gb/veterinary/reference-laboratories/laboratory-protocols/ (2022, accessed July 2023).

Jung, H., Jeong, Y., Kim, Y., Choi, S., Park, I., & Ahn, J. O. (2022). Hypoadrenocorticism in a 1-Year-Old Korean Shorthair Cat. *Journal of Veterinary Clinics*, *39*(3), 144-148.

Manson, R. A., Hammond, T. N., & Clark, J. E. C. (2023). Acute adrenal necrosis in a young female cat. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *38*(1), 346.

Middleton, D. J., Watson, A. D., Howe, C. J., & Caterson, I. D. (1987). Suppression of cortisol responses to exogenous adrenocorticotrophic hormone, and the occurrence of side effects

attributable to glucocorticoid excess, in cats during therapy with megestrol acetate and prednisolone. *Canadian Journal of Veterinary Research*, *51*(1), 60.

Oron, L., Mazaki-Tovi, M., Neri, D., Aroch, I., & Kelmer, E. (2014). Hypoadrenocorticism Diagnosed by Adrenocorticotropin Stimulation Test for Aldosterone in a Diabetic Cat. *Israel Journal of Veterinary Medicine*, *69*(4).

Peterson, M. E., Greco, D. S., & Orth, D. N. (1989). Primary hypoadrenocorticism in ten cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, *3*(2), 55-58.

Radosta, L. (2024). Behavior changes associated with metabolic disease of dogs and cats. *Veterinary Clinics: Small Animal Practice*, *54*(1), 17-28.

Reimann, F., Siol, S., Schlüter, C., & Neiger, R. (2018). Hypoadrenocorticism in two cats successfully treated with desoxycorticosterone pivalate. *Veterinary Record Case Reports*, *6*(3), e000600.

Roberts, E., & Dobromylskyj, M. J. (2022). Histopathological evaluation of the adrenal glands in a cat with primary hypoadrenocorticism and multiple endocrine disease. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*, *8*(2), 20551169221125207.

Romine, J. F., Kozicki, A. R., & Elie, M. S. (2016). Primary adrenal lymphoma causing hypoaldosteronism in a cat. *Journal of Feline Medicine and Surgery Open Reports*, *2*(2), 2055116916684409.

Spalla, I., Spinelli, D., Lucatini, C., Memmi, S., Magnoni, R., Brambilla, P., ... & Locatelli, C. (2014). ECG of the month. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, *244*(1), 45-47.

Stonehewer, J., & Tasker, S. (2001). Hypoadrenocorticism in a cat. *Journal of Small Animal Practice*, *42*(4), 186-190.

Ward, C. R. (2015). Emerging endocrine diseases in the cat. NAVC Conference.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CONSERVATION OF THE MUNZUR TROUT (*Salmo munzirucus*): GENUINE CONSERVATION OR AN APPROACHING LOSS?

Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

Karadeniz Technical University Faculty of Forestry, Department of Wildlife Ecology and Management 61080, Trabzon, Turkey.

mkocabas@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7934-6500

Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Turkey.

filizkutluyer@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8334-5802

ABSTRACT

The Munzur trout (*Salmo munzuricus*) is an endemic species found only in the Munzur Stream and its tributaries in Tunceli province. It thrives in small pools of cold, clear, and fast-flowing stream systems, in rocky, stony, and gravelly environments. However, in recent years, its natural habitat has faced serious threats. Climate changes are also occurring, human-induced pressures, particularly overfishing, streambed reclamation, sand and gravel extraction, urbanization and coastal fill, domestic and industrial waste disposal, and hydroelectric power plant projects, have significantly reduced the species' habitat. Although fishing has been restricted due to these challenges, illegal hunting and habitat destruction continue. Given current trends, a significant population decline is anticipated unless effective and sustainable conservation measures are implemented. In the long term, this decline could have serious ecological consequences, even leading to extinction. Therefore, *S. munzuricus* should be considered a priority species not only for biodiversity conservation but also for the integrity and sustainability of the Munzur Stream ecosystem.

Keywords: Munzur trout, *Salmo munzuricus*, population, conservation.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MUNZUR ALABALIĞININ (*Salmo munzirucus*) KORUNMASI: GERÇEK BİR KORUMA MI YOKSA YAKLAŞAN BİR KAYIP MI?

ÖZET

Munzur alabalığı (*Salmo munzuricus*), yalnızca Tunceli ilindeki Munzur Çayı ve kollarında yaşayan ve son çalışmalarla yeni endemik bir türdür. Munzur alabalığı; soğuk, berrak ve hızlı akışlı dere sistemlerinin küçük gölcüklerinde, tabanı kayalık, taşlık ve çakıllı ortamlarda yaşamını sürdürür. Ancak son yıllarda doğal yaşam alanları ciddi tehditlerle karşı karşıya kalmıştır. İklim de değişikliklerin yaşanması, özellikle aşırı avlanma, kirlilik, dere yataklarının ıslahı, kum ve çakıl çıkarımı, kentleşme ve kıyı dolguları, evsel ve endüstriyel atıklar ile hidroelektrik santral projeleri gibi insan kaynaklı baskılar, türün yaşam alanlarını büyük ölçüde daraltmıştır. Bu olumsuzluklar nedeniyle avcılığı sınırlandırılsa da, kirlilik, yasa dışı avlanma ve habitat tahribatı halen devam etmektedir. Mevcut eğilimler dikkate alındığında, etkili ve sürdürülebilir koruma önlemleri alınmadığı takdirde popülasyonlarda belirgin bir azalma yaşanacağı öngörülmektedir. Uzun vadede bu gerileme, türün yok olmasına kadar varabilecek ciddi ekolojik sonuçlar doğurabilir. Dolayısıyla, *S. munzuricus* yalnızca biyolojik çeşitliliğin korunması açısından değil, aynı zamanda Munzur Çayı ekosisteminin bütünlüğü ve sürdürülebilirliği açısından da öncelikli bir tür olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: Munzur alabalığı, *Salmo munzuricus*, popülasyon, koruma.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

1. GİRİŞ

Anadolu, soğuk su kaynakları, dereler ve nehirlerde barındırdığı yüksek çeşitlilik nedeniyle *Salmo* cinsine ait alabalıklar için önemli bir yaşam alanıdır. Tarihsel kaynaklar, bölgede yalnızca dört alt türünün varlığını rapor etmiştir: Abant Gölü'ne özgü *S. abanticus*, Kura Nehri'nde görülen *S. caspius*, Seyhan Nehri'nden bilinen *S. platycephalus* ve Karadeniz havzasında dağılım gösteren *S. labrax* (Tortonese, 1954; Behnke, 1968; Kottelat, 1997; Kottelat ve Freyhof, 2007). Bununla birlikte, son yıllarda yürütülen ayrıntılı taksonomik ve moleküler incelemeler, bu değerlendirmelerin eksik olduğunu ortaya koymuş; Anadolu'da *Salmo* cinsine ait tür sayısının en az 18'e ulaştığını göstermiştir (Kocabaş ve ark., 2024).

Munzur Alabalığı (*Salmo munzuricus*), halk arasında kırmızı benekli alabalık olarak bilinse de uzun süre bilimsel olarak yeterince tanımlanmamış bir türdür. Tür, Turan ve çalışma arkadaşları tarafından 2017 yılında resmî olarak tanımlanmış ve endemik bir balık olarak kayıtlara geçmiştir (Turan, 2017; Çiçek ve ark., 2018). Türkiye'nin önemli tatlı su kaynaklarından biri olan Munzur Çayı'na özgü olan bu yerli salmonid türü hem ekolojik hem de ekonomik bakımdan büyük değer taşımaktadır. Buna karşın, söz konusu türün evrimsel geçmişi, ekolojisi ve korunmasına yönelik akademik araştırmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Güncel literatürün ise çoğunlukla su ürünleri yetiştiriciliği ve kültivasyonu üzerine yoğunlaştığı dikkat çekmektedir (Kocabaş ve ark., 2011a,b; Akgül ve Can, 2020). Ayrıca, Kocabaş ve ark. (2024), türün ilk kez Pülümür Deresi–Roj Deresi (Kutudere, Tunceli, Türkiye) havzasında da varlığını rapor etmiştir.

Su ekosistemleri, insan faaliyetlerinin de yol açtığı hızlı ve çoğunlukla kalıcı çevresel değişimlere giderek daha fazla maruz kalmaktadır. Bu baskılar arasında iklim değişikliği, kirlilik, habitat dönüşümleri ve yerli olmayan türlerin istilası öne çıkmaktadır. Özellikle stoklama programlarındaki başarısızlıklar veya su ürünleri yetiştiriciliğinden kaçan bireyler, ekosistemlerin dengesi üzerinde ek bir olumsuz etki oluşturmaktadır. Ülkemizin su kaynaklarında yaşayan ve yaşam alanları giderek daralan Munzur alabalığı, karşı karşıya kaldığı çevresel ve antropojenik baskılar nedeniyle gelecekte varlığını sürdürme açısından ciddi risk altındadır. Bu derlemede, ülkemiz kaynaklarında bulunan ve yaşam alanları gerçekten daralan Munzur alabalığının türünün korunması ve popülasyonlarının devamlılığının sağlanabilmesi için bilimsel temelli yönetim stratejilerinin geliştirilmesini ve uygulanması ile ilgili durum ve tedbirler sunulmuştur.

2. MUNZUR ALABALIĞI (*Salmo munzuricus*, Turan, Kottelat & Kaya, 2017) (TELEOSTEİ: SALMONİDAE)

Munzur alabalığı, yanal çizgide toplam 116–123 pul bulunur. Sırt yüzgecinin başlangıcına kadar yanal çizgi üzerinde 28–30 pul sırası yer alırken, anal yüzgece kadar 21–23, yağ yüzgecine kadar ise 15–17 pul sırası bulunur. Sırt yüzgeci 3–4 basit ve 10–11 dallı ışın içerir; distal kenarı düz veya hafif dışbükeydir. Pektoral yüzgeç 1 basit ve 12–13 dallı ışın taşır ve dış kenarı hafifçe dışa kavislidir. Pelvik yüzgeç 1 basit ve 8 dallı ışına sahiptir ve dış kenarı belirgin olarak dışbükeydir. Anal yüzgeçte 3 basit ve 7–8 dallı ışın bulunur; erkeklerde distal kenar önden dışbükey ve arkadan hafif içbükey, dişilerde ise önden düz veya hafif dışbükey, arkadan içbükeydir. Kuyruk yüzgeci hafif çatallı olup, üst lobu sivri, alt lobu yuvarlaktır. İlk solungaç kemerinin dış tarafındaki solungaç tırmıkları toplam 17–20 adet olup, 7–9 ve 10–11 şeklinde iki gruba ayrılır (Turan ve ark., 2017).

Fırat ve Dicle havzalarında gözlemlenen diğer alabalık türlerinden (*S. euphrataeus, S. okumusi, S. tigridis*), *Salmo munzuricus*'u ayıran en belirgin özellik, çok büyük yağ yüzgecidir. Yetişkin bireylerde bu yüzgeç, anal yüzgecin taban uzunluğuna yakın bir ölçüye ulaşır; örneğin, 400 mm standart uzunluktaki bir erkekte yağ yüzgeci, sırt ve anal yüzgeçlerle benzer boyutlara sahiptir. *Salmo munzuricus*, yan tarafında gümüşi bir arka plan rengine sahip olması ve yan taraf boyunca çok sayıda siyah nokta ile ayırt edilir. Nokta sayısı genellikle birey başına 80'den fazladır (yaklaşık 180 mm SL ve üzeri; n = 12), aynı boyuttaki diğer bireylerde ise yaklaşık 55'in altındadır (n = 43). Noktalar, genellikle yan tarafın orta bölümünde yoğunlaşır, bazen üst ve alt kısımlarda da görülür; sırt bölgesinde ise bulunmaz ve çoğunlukla ön kısımda, yan tarafın üst kısmıyla sınırlıdır. Erkek bireylerde yağ yüzgecinde genellikle çok dar bir beyaz kenar, hemen ardından kırmızı bir submarjinal bant, daha sonra beyaz bir bant veya noktalar ve tekrar kırmızı bir bant gözlenir; serbest kenarda ise yağ yüzgecinde üç ila dört kırmızı-turuncu nokta yer alır. Morfometrik özellikler açısından erkekler, dişilere kıyasla daha kısa kafaya sahiptir (%24-27 SL; dişilerde %27-31) ve üst çeneleri daha kısadır (%8-10 SL; dişilerde %10-11). Ayrıca ağız açıklığı erkeklerde daha küçüktür (%10-13 SL; dişilerde %10-12; karşılaştırmalı olarak erkeklerde %14-17 ve dişilerde %12-15) ve yağ ile kuyruk yüzgeçleri arasındaki mesafe erkeklerde daha fazladır (Turan ve ark., 2017).

Vücut, yanlardan basık ve derin olup, derinliği baş uzunluğuna eşit veya bir miktar daha kısadır. Dirsek hattı belirgin kemerli, karın hattı ise hafif kavislidir. Baş kısa ve üst profili düz bir görünüm sergiler; gözün üstü ile burun deliği hizasında hafif dışbükeydir. Erkek bireylerde interorbital alan hafifçe dışbükey iken, dişilerde bu çıkıntı burun bölgesinde gözlenir. Ağız boyutu küçük olup, erkeklerde hafif subterminal, dişilerde subterminal bir konumdadır. Alt

çene ucu sivri ve hafif yukarı kıvrıktır; erkeklerde simfizde küçük bir çıkıntı mevcuttur. Maksilla kısa olup, erkeklerde gözün arka kenarını biraz geçerken, dişilerde yaklaşık 190 mm SL ve üzeri bireylerde daha uzun uzanır. Burun uzunluğu erkeklerde %7-9 SL, dişilerde %7-8 SL olup, erkeklerde sivri, dişilerde ise hafif yuvarlak biçimdedir. Yağ yüzgeci oldukça gelişmiş bir yapıya sahiptir ve erkek bireylerde, vücut boyutundaki artışla birlikte yüzgecin büyüklüğü de artmaktadır. Ölçülen en büyük örnek, 400 mm SL standart uzunluğa ulaşmıştır (Turan ve ark., 2017).

3. MUNZUR ALABALIĞINI TEHDİT EDEN FAKTÖRLER

Doğal su ekosistemlerinde bazı türlerin popülasyonlarında gözlenen ciddi azalmalar ve hatta bazı bölgelerde tamamen yok olmaları, bir dizi karmaşık ve çoğu zaman birbirini tetikleyen faktöre bağlanabilir. İnsan faaliyetleri bu süreçte başlıca rolü oynamaktadır; örneğin sanayileşme, hidroelektrik santrali projeleri ve akarsu yataklarının değiştirilmesi, türlerin yaşam alanlarını doğrudan daraltmakta ve bozmakta; kum ve çakıl alımı ile taş ocakları, fiziksel habitat tahribatını artırmaktadır. Bunun yanında su yataklarının ıslahı, meraların düzenlenmesi, yaylalarda yapılaşma, tarımsal gübre ve pestisit uygulamaları gibi faaliyetler, hem su kalitesini hem de ekosistem bütünlüğünü olumsuz etkilemektedir. Küresel ölçekli etkiler de göz ardı edilemez. Özellikle mevsimde yaşanan değişimler, yağışın azalması ana yaşam alanı olan Munzur Çayı'nın debisinde bariz azalmalara neden olmaktadır. Su debisindeki azalma doğal yaşam alanında oluşan daralmanın yanında, asit yağmurları ve suyun dilute etme özelliğindeki azalmalar, türlerin yaşamsal koşullarını zorlaştırmakta ve ekosistem direncini azaltmaktadır. Ayrıca doğal afetler (seller, heyelanlar ve toprak kaymaları) ile ulaşım ve altyapı projeleri veya madencilik çalışmaları, türler için yeni baskı unsurlarına neden olmaktadır. Bu bulgular, sadece insan kaynaklı baskıların değil, aynı zamanda çevresel değişkenlerin de bir araya gelerek türlerin yok olma riskini artırdığını göstermektedir (Kocabaş ve ark., 2012).

Su kaynaklarının kirlenmesinde nüfus artışı, çevre bilincinin eksikliği ve eğitim düzeyinin düşüklüğü belirleyici rol oynamaktadır. Ekonomik refahın yükselmesiyle birlikte, tüketim alışkanlıkları ve kullanılan ürünlerin çeşitliliği artmış; insanlar deniz kıyılarından dağ zirvelerine, yaylalara kadar farklı alanlarda yerleşim kurmuştur. Özellikle yaz aylarında küçük yerleşim alanlarında, köylerde çok fazla nüfus yoğunluğu yaşandığı buna bağlı olarak alıcı ortam olan suların daha da fazla kirletildiği gözlemlenmiştir. Bu artış, doğa/yayla turizminin gelişmesiyle birlikte su kaynaklarının kaynağından itibaren kirlenmesine neden olmuştur. Beton yapıların çoğalmasıyla evlerde elektrikli cihazların kullanımı yaygınlaşmış; banyolarda şofben, şampuan, çamaşır makinesi ve deterjan, mutfaklarda ise bulaşık makinesi ve bulaşık

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

deterjanı gibi ürünler kullanılmakta ve bu atıklar doğrudan suya karışmaktadır. Kullanılan kimyasalların aktif maddelerinin güçlenmesi, kirlenme etkisini daha da artırmaktadır. Bunun yanı sıra, su kenarındaki ilçelerden kaynaklanan sanayi atıkları da su ortamına ulaşmakta, yerel yönetimler ise genellikle sorunu göz ardı etmekte veya çözümü ertelemektedir. Bu durum, hem toplumsal farkındalık hem de yönetsel önlemlerin yetersizliğinin su kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerini açıkça göstermektedir (Kocabaş, 2009).

Modern inşaat ve altyapı faaliyetleri, artan beton ve yapı malzemesi ihtiyacıyla doğrudan ilişkilidir ve bu talep, doğal su kaynaklarının ciddi şekilde tahrip edilmesine yol açmaktadır. Kum ve çakıl temini çoğunlukla akarsu yataklarından iş makineleriyle veya yakın taş ocaklarından patlatma yöntemiyle sağlanmaktadır; bu süreçler, dere yataklarının yapısını kalıcı biçimde değiştirmekte ve habitatın bozulmasına neden olmaktadır. Taş ocaklarında kullanılan ağır makineler ve patlatmalar çevresel gürültüyü artırmakta, ekosistem üzerinde ek baskı oluşturmaktadır. Özellikle kum ve çakılın kırılması ve yıkanması sırasında ortaya çıkan atık sular, hiçbir arıtma veya dinlendirme işlemine tabi tutulmadan doğrudan akarsuya bırakılmakta; bu durum, suyun mineral ve askıda madde miktarını artırarak kirlenmenin kaynağından kilometrelerce uzaklara taşınmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, orman içlerinde veya çıplak arazilerde yapılan yol çalışmaları - ister maden ocaklarına ister HES projelerine hizmet etsin - toprağın şevli kısımlarına malzeme dökülmesini içerir ve yağmur veya kar erimeleri sırasında bu topraklar çamur hâline gelerek suyollarını günlerce kirletebilmektedir. Bu gözlemler, modern inşaat ve altyapı faaliyetlerinin, ekosistemler üzerinde sadece doğrudan tahrip edici değil, aynı zamanda uzun vadeli ve yaygın çevresel etkilere neden olabilmektedir (Kocabaş ve ark., 2009a, b; Kocabaş ve ark., 2011).

Gübreleme, su kaynaklarına doğrudan taşınmakta ve akarsuların başlangıcından itibaren kirliliğe neden olmaktadır. Özellikle akarsu boyunca lokanta, kafe, çay bahçesi benzeri yapıların artması su ortamına deterjan vb kirleticilerin girmesine neden olmaktadır. Benzer şekilde, yeni yaşam alanları oluşturma faaliyetleri, toprak erozyonunu artırmakta ve su kalitesinin bozulmasına yol açmaktadır; bu durum, alabalıkların yaşam alanlarını daha kırılgan hâle getirmektedir. Bu gözlemler, hem tarımsal hem de olumsuz çevre faaliyetlerinin ekosistem üzerinde uzun vadeli olumsuz etkiler ürettiğini ortaya koymaktadır.

Hidroelektrik santrallere (HES) suyun iletilmesi, genellikle akarsulardan kanallar veya tüneller aracılığıyla yapılmakta; bu durum, suyun alındığı noktadan santrale kadar olan bölümde akışın büyük ölçüde azalmasına veya tamamen kesilmesine yol açmaktadır. Bu durum, akarsu ekosistemlerinde türlerin hareket alanını kısıtlamakta ve yaşam alanlarını daraltmaktadır. İncelemeler, çoğu HES'te yapılan balık geçitlerinin balıkların boyut ve tür

ihtiyaçlarına uygun tasarlanmadığını ve girişlerinin genellikle kuru veya karaya yakın alanlara açıldığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, yeterli can suyu bırakılmaması, ekosistem üzerindeki baskıyı artırmakta ve predasyon oranlarını yükseltmektedir. Kaynağa yakın inşa edilen HES'lerde su kullanımı maksimum düzeye ulaştığından, su miktarı kesintiye uğramakta ve kalitesi olumsuz etkilenmekte, alüvyon taşınımı, suyun berraklığı, sıcaklık ve tür çeşitliliği de değişime uğramaktadır. Bu müdahaleler, alabalık popülasyonlarının yaşam alanlarını daraltmakta ve bazı bölgelerde geri dönüşü olmayan kayıplara neden olmaktadır. Orman alanlarındaki tahribat sonucu erozyon artmakta, bu da iç sularda ekonomik türlerin yanı sıra alabalıkların sayısının azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca, yumurtlama alanlarının bozulması, kirlenme, kaçak avcılık, dere yataklarının tahribi, yabancı türlerin salımı, gökkuşağı alabalığı üretim tesislerinin memba kısımlara kurulması, hastalıklar, hibridizasyon ve ilaçlama uygulamaları, akarsu ekosistemlerinde uzun vadeli ve birbirini tetikleyen baskılar oluşturmaktadır. Bu bulgular, HES'ler ve insan kaynaklı diğer müdahalelerin ekosistem bütünlüğü ile yerel türlerin devamlılığı üzerinde ciddi ve kalıcı tehditler yarattığını göstermektedir (Kocabaş, 2009a, b).

Gökkuşağı alabalığı üretim tesisleri genellikle su kaynağının membasına kurulmakta ve bu alanlar Munzur alabalığının doğal yaşam alanlarıyla çakışmaktadır. Üretim sırasında balıklar ve larvalar çeşitli yollarla ana su kaynağına kaçabilmekte; ölü yumurtalar ve hasta balıklar doğrudan alıcı suya bırakılmaktadır. Tesislerde sık görülen paraziter, bakteriyel ve viral hastalıklar ile kimyasal uygulamalar, gökkuşağı alabalığının kanibalizm, alan baskısı ve av paylaşımı davranışları, doğal olarak yaşayan Munzur alabalığı üzerinde ciddi ekolojik baskılar oluşturmaktadır.

Kurumlar tarafından yürütülen balıklandırma çalışmaları, Munzur alabalığı üzerinde genetik baskı oluşturarak türün hibritleşme riskini artırmaktadır. Gerçekleştirilen gözlemler, birçok su kaynağında hibrit bireylerin varlığını ortaya koymuştur. Bunun yanı sıra, üretim tesislerinin atıkları da ekosistem üzerinde olumsuz etkiler aşikârdır. Lokanta ve evsel atıkların doğrudan akarsuya bırakılması, su kaynaklarının ciddi şekilde kirlenmesine neden olmaktadır (Kocabaş, 2011).

Doğal alabalıkların avlanması, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirli dönemlerde kısıtlanmaktadır. Buna ek olarak, Bakanlığın yürüttüğü sürekli koruma önlemleri ve uygulanan yaptırımlar sayesinde, korunan bölgelerdeki alabalık populasyonları yıl boyunca güvence altına alınmaya çalışılmaktadır (Kocabaş, 2009a, b).

Munzur alabalığı popülasyonları, özellikle kaçak avcılık, yasak av araçlarının kullanımı ve bilinçsiz seleksiyon uygulamaları nedeniyle ciddi baskı altındadır. Korunan alanlar dışındaki

doğal habitatlarda, avcılık yalnızca olta balıkçılığıyla sınırlandırılmış olup, kişi başına günde en fazla üç adet ve 20 cm'den büyük bireylerin tutulmasına izin verilmektedir. 2012-22 sayılı "Amatör (Sportif) Amaçlı Su Ürünleri Avcılığını Düzenleyen Tebliğ"de ise av sezonu 1 Ekim–31 Mart olarak belirlenmiş ve olta takımı sayısı ile iğne kullanımına sınırlamalar getirilmiştir. Ancak Munzur alabalığının yaşam alanlarının zorlu ve erişimin kolay olması, özellikle yaylalara ulaşımın farklı yollarla sağlanması, denetim ve yasal uygulamalarını zorlaştırmakta, bu da kaçak avcılığın devam etmesine ve tür üzerindeki baskının sürmesine neden olmaktadır. Bu durum, sürdürülebilir avcılığın sağlanmasını ve doğal popülasyonların korunmasını büyük ölçüde engellemektedir. Olta balıkçısı avladığı balığı satamaz. Limiti belli olmasına rağmen bu kurallara uymamaktadır. Alabalık avcılığı hem sabır hem de teknik gerektiren bir faaliyettir. Buna karşın, bazı yerel avcıların yasak olmasına rağmen olta yerine tırıvırı, serpme veya germe gibi yasadışı yöntemleri kullanmakta özellikle de üreme döneminde daha sıcak, memba sularına yani köylerin içerisinden geçen sulara daha çok girdiklerinden buralardan avlanıp ticari olarak değerlendirildiği görülmüştür. Doğal alabalık, insanlar tarafından özel ve besleyici bir tür olarak görülmekte ve yakalandığında boyuna bakılmaksızın her birey av mahsulü olarak değerlendirilmektedir. Küçük bireyler çoğu zaman canlı olarak tüketilmekte ve avcılar bunun sindirim sağlığı için yararlı olduğuna inanmaktadır. Yıllar içerisinde uygulanan cezalar av miktarını zaman zaman azaltmış olsa da, kaçak avcılığın hâlen devam ettiği gözlemlenmektedir. Avcılar, bu balığın yakalanmasını hem keyifli bir uğraş hem de yüksek gelir sağlayan bir faaliyet olarak görmektedir; çünkü doğal alabalığın eti yüksek kaliteye sahip olup her zaman alıcı bulabilmektedir. Bu durum, türün üreme boyu dikkate alınmaksızın yoğun av baskısına maruz kaldığını ve popülasyonları üzerinde ciddi tehditler oluşturduğunu göstermektedir (Kocabaş, 2009a).

Tüm bu olumsuz etmenlere rağmen, Munzur alabalığı hâlen doğal yaşamlarını sürdürebilmektedir. Ancak insan kaynaklı baskılar ve habitat farklılıkları nedeniyle, bu türün üreme dönemi, boyut aralıkları ve yaşam alanları diğer *Salmo trutta* ekotiplerinden farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, özellikle avcıların hangi bireyi avladıklarını doğru bir şekilde ayırt etmelerinin önemini vurgulamaktadır; aksi takdirde yanlış avlama uygulamaları, türün popülasyon sağlığı üzerinde ekolojik baskıyı artırmaya devam edecektir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Munzur alabalığının doğal yaşam alanları her geçen gün daralmaya devam etmekte ve bu durum türün devamlılığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Yüksek ekonomik değeri

nedeniyle, bu tür gökkuşağı alabalığına göre 4–10 kat daha yüksek fiyatlarla ticari değer bulmaktadır. Ne var ki, üreme döneminde yoğunlaşan ve tırıvırı, serpme, germe, dinamit, el bombası veya gece ışığı gibi yasadışı yöntemlerle gerçekleştirilen avcılık, aynı zamanda dere yataklarının ıslahı, yol ve beton yapıları ile hidroelektrik santrali projeleri popülasyon üzerinde ekolojik baskı yaratmaktadır. Bu nedenle, kırmızı benekli alabalıkların popülasyon dinamiklerinin detaylı biçimde incelenmesi, stokların güçlendirilmesi ve etkili koruma önlemlerinin hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Türün yaşam ve üreme alanları acilen korunmalı; stok destekleme çalışmaları sırasında bilimsel yaklaşımlar kullanılmalı ve damızlık olarak seçilen bireylerin yavruları, toplandıkları doğal ortamlarına geri bırakılmalıdır. Bu önlemler, hem türün sürdürülebilirliği hem de doğal ekosistemlerin korunması açısından kritik bir gerekliliktir.

.

KAYNAKÇA

Akgül, E., and Can, E. (2020). The anesthetic effects of 2-phenoxyethanol on Munzur trout fingerlings (*Salmo munzuricus* Turan et al., 2017) at different temperatures. *Iranian Journal of Fisheries Sciences, 19*(1), 195–203. https://doi.org/10.22092/ijfs.2019.118469.

Behnke, R. J. (1968). A new subgenus and species of trout *Salmo (Platysalmo) platycephalus*, from south-central Turkey with comments on the classification of the subfamily Salmoninae. *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut, 66*, 1–15.

Çiçek, E., Fricke, R., Sungur, S., and Eagderi, S. (2018). Endemic freshwater fishes of Turkey. *FishTaxa, 3*(4), 1–39.

Kocabaş, M. (2009a, October 22–23). Türkiye doğal alabalık (*Salmo trutta*) ekotiplerinin fenotipik özelliklerinin karşılaştırılması. In *Doğal Alabalık Çalıştayı Kitabı* (pp. 86–91). Afyon Kocatepe University. http://www.akuademi.net/ca/?ALABALIK.2009:Sunumlar; http://www.akuademi.net/ca/ALA2009/12.pdf

Kocabaş, M. (2009b). *Türkiye doğal alabalık (Salmo trutta) ekotiplerinin kültür şartlarında büyüme performansı ve morfolojik özelliklerinin karşılaştırılması* (Doktora tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kocabaş, M. (2011, June 21–22). Türkiye doğal alabalık (*Salmo trutta*) ekotiplerinin fenotipik özelliklerinin karşılaştırılması. In *1. Çıldır Gölü Çalıştayı* (p. 9). Ardahan, Türkiye.

Kocabaş, M., Kayim, M., Can, E., Ates, M., Kizak, V., Kutluyer, F., Demirtas, N., and Serdar, O. (2011a). Stomach contents and food habits of brown trout (*Salmo trutta* L., 1758) in the Munzur stream, Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances, 24*, 3188–3191.

Kocabaş, M., Kayim, M., Can, E., Kutluyer, F., and Aksu, Ö. (2011b). The reproduction traits of native brown trout (*Salmo trutta macrostigma* T., 1954), Turkey. *Journal of Animal and Veterinary Advances, 10*(13), 1632–1637.

Kocabaş, M., Kayim, M., Aksu, Ö., Can, E., Kizak, V., Kutluyer, F., Serdar, O., and Demirtas, N. (2012). Seasonal variation in food preference of the brown trout *Salmo trutta macrostigma* (T., 1954) from Uzungöl Stream, Turkey. *African Journal of Agricultural Research, 7*(13), 1982–1987. https://doi.org/10.5897/AJAR11.403

Kocabaş, M., Turan, D., and Kutluyer Kocabaş, F. (2024). First record for *Salmo munzuricus* Turan, Kottelat and Kaya, 2017 (Teleostei: Salmonidae) in Pülümür Stream-Roj Creek (Kutudere, Tunceli, Turkey). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 9*(2), 168–173.

Kottelat, M. (1997). European freshwater fishes. An heuristic checklist of the freshwater fishes of Europe (exclusive of former USSR), with an introduction for non-systematists and comments on nomenclature and conservation. *Biologia, 52*(Suppl. 5), 1–271.

Kottelat, M., and Freyhof, J. (2007). *Handbook of European freshwater fishes*. Kottelat, Cornol and Freyhof, Berlin.

Tortonese, E. (1955). The trouts of Asiatic Turkey. *Publications of the Hydrobiological Research Institute, University of Istanbul, Seri B, 2*, 1–25.

Turan, D., Kottelat, M., and Kaya, C. (2017). *Salmo munzuricus*, a new species of trout from the Euphrates River drainage, Turkey (Teleostei: Salmonidae). *Ichthyological Exploration of Freshwaters, 28*(1), 55–63.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SEX DIFFERENCES IN DIETARY PREFERENCES AND FEEDING STRATEGIES IN FISH

Prof. Dr. Filiz KUTLUYER KOCABAŞ

Munzur University, Fisheries Faculty, 62000, Tunceli, Turkey.

filizkutluyer@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8334-5802

Prof. Dr. Mehmet KOCABAŞ

Karadeniz Technical University Faculty of Forestry, Department of Wildlife Ecology and Management 61080, Trabzon, Turkey.

mkocabas@hotmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7934-6500

ABSTRACT

The success of aquaculture and the maintenance of natural ecosystems depend largely on fish nutrition and feed resources. Fish feeding is influenced by various factors. Sex is one of the factors influencing feed intake and nutrition. Studies have been conducted on the effects of sex on feed intake and nutrition in different fish species (*Eleginops maclovinus*, *Bathygobius soporato*, *Oreochromis niloticus*, *Anguilla japonica*, *Gasterosteus aculeatus*, *Merlangius merlangus*, *Poecilia reticulata*, *Betta splendens*). Studies have shown that sex influences food type and size, stomach content, feed conversion ratio, feeding behavior, and feeding mechanism. Consequently, given the importance of feeding studies in understanding interspecies relationships and developing appropriate management measures for production, studies investigating the effects of sex on feeding behavior and strategies in different fish species are needed.

Keywords: sex differences, feeding, fish.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BALIKLARDA BESLENME TERCİHLERİ VE BESLENME STRATEJİLERİNDE CİNSİYET FARKLILIKLARI

ÖZET

Su ürünleri yetiştiriciliğinde başarı ve doğal ekosistemlerin devamlılığı, büyük ölçüde balık beslenmesi ve yem kaynaklarına bağlıdır. Balıklarda beslenme çeşitli faktörlerin etkisi altındadır. Cinsiyet, yem alımı ve beslenme üzerinde etkili faktörlerden biridir. Farklı balık türlerinde (*Eleginops maclovinus, Bathygobius soporato, Oreochromis niloticus, Anguilla japonica, Gasterosteus aculeatus, Merlangius merlangus, Poecilia reticulata, Betta splendens*) cinsiyetin yem alımı ve beslenme üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, cinsiyetin besin tipi ve büyüklüğü, mide içeriği, yem dönüşüm oranı, beslenme davranışı, beslenme mekanizması üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, besleme çalışmalarının, türler arası ilişkileri anlamada ve üretim için doğru yönetim becerileri geliştirmede taşıdığı önem dikkate alındığında, cinsiyetin farklı balık türlerinde beslenme davranışları ve stratejileri üzerindeki etkilerini araştıran çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: cinsiyet, beslenme, balık.

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, gıda üretim sektörleri arasında en hızlı büyüyen alanlardan biridir (FAO, 2022; TOB, 2023). Balık yemi kullanımı ve yemleme stratejileri, su ürünleri yetiştiriciliğinin kritik bir unsuru olarak öne çıkar (Ayinla, 2007). Beslenme, avlanma, işleme ve besin ögelerinin değerlendirilmesini kapsayan temel bir yaşam fonksiyonudur (Kasumyan ve Doving, 2003). Etkin bir besleme programı, balıkların büyümesini destekler, yetiştiricilik ortam kalitesini iyileştirir, hayatta kalma oranlarını artırır, boyut homojenliğini sağlar, yem israfını azaltır ve sonuç olarak üretim verimliliğini yükseltir (Dwyer ve ark., 2002; Isyagi ve ark., 2009).

Balıkların büyüme kapasitesi türler arasında farklılık gösterir ve bu kapasite birçok faktörden etkilenir. Büyümenin ne ölçüde gerçekleşeceği, esas olarak balığın yem tüketimi ile yemin besin gereksinimlerini ne kadar karşılayabildiğine bağlıdır. Dolayısıyla, su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerinin kârlılığı, etkin bir besleme stratejisinin uygulanmasına bağlıdır. Balığın ihtiyaç duyduğu besin öğelerini almak için yem miktarı, yem boyutu, tüketim kolaylığı, israfın önlenmesi ve yemlemenin planlanması dikkatli yapılmalıdır (Eriegha ve Ekokotu, 2017).

Balıklarda cinsiyete bağlı olarak beslenme davranışlarında farklılıklar gösterebilmektedir. Erkek ve dişi balıklar arasındaki somatik büyüme farklılıkları, çoğunlukla üç içsel faktörden kaynaklanabilir: metabolik faaliyetlerdeki farklılıklar, enerji kullanımındaki dağılım farklılıkları veya cinsiyetler arasında enerji alımının eşit olmaması. Enerji alım düzeyi, tüketilen besin miktarı, besin kalitesi veya enerji özümseme kapasitesindeki cinsiyete özgü farklılıklar tarafından etkilenebilir. Teleost türlerinde eşeysel boyut dimorfizminin mekanizmalarını inceleyen çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, gözlemler genellikle birden fazla içsel faktörün büyüme farklarına katkıda bulunduğunu göstermektedir (Lauerburg ve ark., 2015). Bu derlemede, cinsiyetin balıklarda yem alımı üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. BALIKLARDA BESLENMEYİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Balıkların yemle ilişkisi, sadece beslenme davranışlarını değil, aynı zamanda büyüme kapasitelerini de doğrudan etkileyen temel bir dış uyarandır. Bundan dolayı, bir su ürünleri üretim tesisinde balığın yem alımı, üretimin verimliliğini belirler ve ekonomik açıdan kritik bir faktör olarak öne çıkar. Balıkların besin tüketimini düzenleyen fizyolojik sistem, hipotalamusta merkezi ve çevresel sinyalleri bir araya getiren karmaşık bir ağ sayesinde işler; bu ağ, iştahı kontrol eden genlerin açığa çıkışını ya uyarır ya da baskılar (Assan ve ark., 2021).

Açlık durumu genellikle balıkların beslenme tepkilerini tetikler. Yem bulunduğunda, balıklar beslenmeye hızlı bir başlangıç yapabilir, ancak zamanla iştahları azalır ve beslenme hızı yavaşlayarak durabilir. Beslenme davranışı, içsel fizyolojik faktörlerden etkilenir; ancak çevresel ve ekolojik koşulların özellikle de su kalitesi ve sudaki kimyasal maddelerin varlığı bu davranış üzerinde belirleyici bir rol oynadığı gözlemlenmektedir (Lloyd,1992; Volkoff ve ark., 2010; van de Pol ve ark., 2017; Assan ve ark., 2021). Stres, sıcaklık, hipoksia, su kalitesi, fotoperiyot ve ışık rejimi, circannual ve sirkadiyen ritimler, kirleticiler, yem tipi ve büyüklüğü balıkların yem alımını etkileyen çevresel faktörlerdir (Lloyd,1992; Assan ve ark., 2021).

Çeşitli stres nedenlerine bağlı olarak aynı tür balıklar, stres baskısı olmayan koşullardaki bireylerine kıyasla daha az besin tüketir ve büyüme hızları düşer. Araştırmalar, besin alımı aynı seviyede tutulsa bile, stresli ortamların yemin dönüşüm etkinliğini azalttığını ve bunun sonucunda balıkların büyüme oranlarında gerilemeye yol açtığını göstermektedir (Paspatis ve ark., 2003; d'Orbcastel ve ark., 2010).

Balıklarda yem tüketimi ve beslenme davranışları, birçok temel biyolojik işlevin düzenlenmesinde sıcaklıktan doğrudan etkilenir (Lloyd,1992; Kasumyan ve Dovıng, 2003; Handeland ve ark., 2008). Bu etki türler arasında farklılık gösterse de, genel olarak sıcaklık ile

beslenme düzeyi arasındaki ilişki çan eğrisi şeklinde bir dağılım sergiler (Volkoff ve Rønnestad, 2020). Optimal sıcaklık aralıklarında balıklar yem alma konusunda daha istekli olur ve türün uyum sağladığı sıcaklık koşullarında bu yüksek beslenme eğilimi korunur. Öte yandan, sıcaklıkta hafif bir düşüş yaşandığında balıklar kısa süreli bir adaptasyon gösterebilir; böylece beslenme hızı geçici olarak sürdürülebilir (Assan ve ark., 2021).

Balık yetiştiriciliğinde çözünmüş oksijen (ÇO), en kritik çevresel etkenlerden biri olarak kabul edilir (Lloyd,1992; Lv ve ark., 2021). Su ürünleri üretiminde, ÇO eksikliği genellikle büyüme ve sağlık açısından sınırlayıcı bir faktör oluşturur; çünkü balıklar, yeterli oksijen seviyelerini gerektiren aerofilik solunum yeteneğine sahiptir (Lloyd,1992; Abdel-Tawwab ve ark., 2019). Yüksek yoğunluklu yetiştiricilik ortamlarında suyun oksijen düzeyinin düşmesi (hipoksi), balıklar üzerinde ciddi bir dışsal stres faktörü olarak ortaya çıkmaktadır (Refaey ve ark., 2018).

Balıklarda fotoperiyot, birçok temel biyolojik sürecin düzenlenmesinde belirleyici bir çevresel faktör olarak işlev görür (Biswas ve Takeuchi, 2003). Araştırmalar, farklı türlerde ışık süresi ve rejiminin beslenme davranışlarını önemli ölçüde şekillendirebildiğini ortaya koymaktadır. Uzun veya kısa ışık periyotları, balıkların büyüme performansını ve hayatta kalma şansını etkileyerek yem alımını ve beslenme düzenlerini dolaylı olarak değiştirir (Nwosu ve Holzlöhner, 2000). Bunun yanı sıra, fotoperiyodun balıkların genel refahı, davranışsal rutinleri ve stres yanıtları üzerinde de etkili olduğu bilinmektedir (Adewolu ve ark., 2008). Bu durum, ışık yönetiminin yetiştiricilik sistemlerinde yemleme stratejileri ve büyüme verimliliği açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir (Assan ve ark., 2021).

Balıklar, doğal davranış döngüleri çerçevesinde iki temel yem alma ritmi sergiler: günlük (sirkadiyen) ritimler ve mevsimsel (yıllık) ritimler (Boujard ve Leatherland, 1992; Bolliet ve ark., 2001; Gerking, 2014). Bu ritimler, balıkların beslenme zamanlamasını ve aktivite düzeylerini belirleyerek enerji alımını optimize etmelerine yardımcı olur. Sirkadiyen ritim, organizmaların biyolojik süreçlerini düzenleyen ve belirli bir düzen içinde işleyen doğal bir 24 saatlik döngüdür. Bu içsel biyolojik saat, bir canlının biyokimyasal, fizyolojik ve davranışsal aktivitelerini optimize etmek ve çevresel değişiklikleri, özellikle gündüz-gece döngüsünü, tanımak üzere evrimleşmiştir (Al-Mousawi ve ark., 2021).

Özellikle üreme zamanlarında çok çeşitli göç davranışları sergilerler (McDermott, 2025). Kısa ve uzun göçler, okyanus ve denizlerden acı sulara veya tatlı sulara göç, tatlı su kaynaklarından (akarsu, göl) tuzlu sulara ya da bulundukları sularda uzun mesafeli göçler yapabilirler (Gross ve ark., 1988). Ilıman tuzlu sularda yaşayan Boğa köpekbalıkları gibi geniş tuzluluk aralıklarında yaşayabilir ve tatlı sulara kadar girebilirler. Bazı türler besinlerini takip

ederler ve su tabanı ile yüzey arasında göç ederler. Ton balıkları ise çok uzun mesafelerde beslenme göçleri yapabilirken, yaldızlı yayın balığı (*Brachyplatystoma rousseauxii*, yada Dourada) Amazon nehrinde 5.500 km göç edebilirler (Barthem ve ark., 2016). Bu esnada da farklı beslenme davranışları gösterebilirler. Bu dönemlerde de genellikle dişi balıklarda ovaryumun gelişimine bağlı olarak beslenme metabolizması çok azalabilir ya da durabilir. Bazı türlerde Androm (Somon, Mersin balıkları, Bazı Smeltler), Katadrom (Avrupa Yılan balıkları, bazı kefal ve levrek türleri gibi) ve diadrom gibi üreme göçleri gösterebilir ve farklı besin türleri ile beslenebilirler. Özellikle Atlantik somonu ve Avrupa yılan balıklarında üreme göçleri sırasında hiç beslenmeye bilirler (Jenkins ve ark., 2023).

Balıkların yem alımı ve tüketiminde bazı içsel özellikler de belirleyici rol oynar. Bu içsel faktörler çoğunlukla genetik temellere dayanır ve kalıtsal özellikler olarak ortaya çıkar. Özellikle balığın tat alma yeteneği ve hormonal yapısı, besin alımını doğrudan etkileyen önemli unsurlar arasında yer alır (Eriegha ve Ekokotu, 2017).

Balıklar için yemi tanımanın başlıca yolları koku alma ve görme duyularıdır. Ancak, özellikle bulanık sularda görme genellikle sınırlı olduğundan, yiyecek bulmada kemo-reseptörlerin rolü ön plana çıkar (Hepher, 2009). Bu durum, yemin kabul edilip edilmeyeceği üzerinde belirleyici bir etki yaratır (Adron ve Mackie, 1978). Balıklar tat alımını burun, ağız, dil ve boğaz bölgeleri aracılığıyla gerçekleştirir; dillerinde insanlardaki gibi tat tomurcukları bulunmasına rağmen, dillerini geri çekme yeteneğine sahip değillerdir (Eriegha ve Ekokotu, 2017).

Çeşitli hormonlar, balıkların yem alma davranışını doğrudan etkileyebilir. Özellikle birçok balık türünde üreme dönemlerinde beslenmenin kesildiği yaygın bir gözlemdir. Bu dönemler, beslenme davranışındaki değişikliklerle yakından ilişkili olup, üreme döngülerine bağlı olarak ortaya çıkar (NRC, 1987).

Bir balık türünde yem tüketimi, fizyolojik duruma bağlı olarak farklılık gösterebilir; örneğin, gamet gelişimi sırasında beslenme genellikle azalır (Hepher, 2009). Yumurtlamadan önce ve yumurtlama süresince yem alımında düşüş gözlemlenebilir. Türün ideal sıcaklık aralığında, vücut ağırlığı birimi başına yem tüketimi, balığın büyüklüğü arttıkça azalırken, su sıcaklığı yükseldiğinde artış gösterebilir. Ayrıca, hipoksi veya ortamda yüksek amonyak konsantrasyonu gibi stres koşulları yem alımını olumsuz etkiler (Kaushik, 2013). Açlık dönemlerinden sonra balıklar, normalden daha fazla yem tüketme eğilimi gösterir; ancak sonraki öğünlerde bu fazla tüketim kısmen dengelenir (Hepher, 2009).

3. CİNSİYETİN BESİN ALIMI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Beslenme davranışları ile yem alımı balıklarda cinsiyete bağlı olarak değişmekte, genellikle erkek bireylerde hızlı büyüme ve telafi edici büyüme için yem tüketiminde daha yoğun ve agresif bir strateji, dişi bireylerde daha düzenli bir beslenme görülmekte ve enerji öncelikle üreme faaliyetleri için kullanlmaktadır (Toguyeni et al., 1997; Barreto, Moreira, & Carvalho, 2003; Yoshikawa, 2013). Alabalıklarda üreme dönemlerinde dişiler yumurta bırakana kadar sindirim sistemleri %10 dolulukta olabilirken erkek balıklarda aynı dönemde doluluk %40-50 arası olabilmektedir (Kocabaş ve ark., 2011; 2012). Besin tercihleri de cinsiyete bağlı olarak değişir; bazı türlerde dişiler belirli hayvansal besinleri daha fazla tüketirken, erkekler hızlı avlanmayı gerektiren besinleri veya farklı besin gruplarını tercih edebilir (Soares ve ark., 2016; McGee & Wainwright, 2013). Ayrıca çene morfolojisi ve diş yapısı gibi fizyolojik farklılıklar da beslenme stratejilerini etkiler (McGee ve Wainwright, 2013). Erkekler yemden elde edilen enerjiyi büyüme ve telafi edici mekanizmalara yönlendirirken, dişiler enerji kullanımını yumurta üretimi ve üreme önceliklerine göre optimize eder (Barreto ve ark., 2003; Yoshikawa, 2013). Çevresel faktörler ve sosyal yapı da bu farklılıkları belirler; örneğin grup içindeki cinsiyet oranı ve rekabet düzeyi, yem alımı ve büyüme hızını etkileyebilir (Toguyeni ve ark., 1997; Griffiths, 1996). Genel olarak, balıklarda cinsiyet, hem beslenme stratejilerini hem de büyüme ve enerji kullanımını şekillendiren temel bir faktördür (Soares ve ark., 2016; Gedamke ve ark., 2015). Tablo 1'de cinsiyetin farklı balık türlerinin yem alımı ve beslenme üzerindeki etkileri sunulmuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Başarılı bir yetiştiricilik operasyonu için, türlere özgü ideal yetiştirme koşullarının tasarlanması ve uygulanması kritik öneme sahiptir. Balıklarda, yem alımı ve kullanım etkinliği cinsiyete bağlı olarak değişmektedir. Yapılan çalışmalar, cinsiyetin yalnızca üreme değil, aynı zamanda beslenme ekolojisiyle de ilişkili olduğunu göstermektedir. Balık yetiştiriciliğinde sürdürülebilir üretim ve ekolojik dengeyi sağlamak için, farklı ekosistemlerde ve yaşam evrelerinde beslenme alışkanlıkları ile stratejilerinin cinsiyete bağlı farklılıklarını ortaya koyacak araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

Abdel-Tawwab, M., Monier, M. N., Hoseinifar, S. H., and Faggio, C. (2019). Fish response to hypoxia stress: Growth, physiological, and immunological biomarkers. *Fish Physiology and Biochemistry, 45*(3), 997–1013. https://doi.org/10.1007/s10695-019-00614-9.

Adewolu, M. A., Adeniji, C. A., and Adejobi, A. B. (2008). Feed utilization, growth and survival of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings cultured under different photoperiods. *Aquaculture, 283*(1–4), 64–67. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.020

Adron, J. W., and Mackie, A. M. (1978). Studies on the chemical nature of feeding stimulants for rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *Journal of Fish Biology, 12*(3), 303–310. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1978.tb04173.x

Al-Mousawi, Z. A. H., Alallawee, M. H. A., and Ali, S. A. (2021). Circadian rhythms and hormonal homeostasis in animals: A review. *Basrah Journal of Veterinary Research, 20*(2), 128–137.

Assan, D., Huang, Y., Mustapha, U. F., Addah, M. N., Li, G., and Chen, H. (2021). Fish feed intake, feeding behavior, and the physiological response of apelin to fasting and refeeding. *Frontiers in Endocrinology, 12*, 798903. https://doi.org/10.3389/fendo.2021.798903

Ayınla, O. A. (2007). Analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development in Nigeria. In M. R. Hasan, T. Hecht, S. S. De Silva, and A. G. J. Tacon (Eds.), *Study and analysis of feeds and fertilizers for sustainable aquaculture development* (FAO Fisheries Technical Paper No. 497, pp. 453–470). FAO.

Barreto, R. E., Moreira, P. S. A., and Carvalho, R. F. (2003). Sex-specific compensatory growth in food-deprived Nile tilapia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 36*(4), 477–483. https://doi.org/10.1590/S0100-879X2003000400005

Barthem, Ronaldo B.; Goulding, Michael; Leite, Rosseval G.; Cañas, Carlos; Forsberg, Bruce; Venticinque, Eduardo; Petry, Paulo; Ribeiro, Mauro L. de B.; Chuctaya, Junior; Mercado, Armando (2016). "Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles". Scientific Reports. 7 (1): 41784. doi:10.1038/srep41784

Biswas, A. K., and Takeuchi, T. (2003). Effects of photoperiod and feeding interval on food intake and growth rate of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* L. *Fisheries Science, 69*(5), 1010–1016. https://doi.org/10.1046/j.1444-2906.2003.00720.x

Bolliet, V., Azzaydi, M., and Boujard, T. (2001). Effects of feeding time on feed intake and growth. In D. Houlihan, T. Boujard, and M. Jobling (Eds.), *Food intake in fish* (pp. 233–249). Blackwell Science Ltd. https://doi.org/10.1002/9780470999516.ch10

Boujard, T., and Leatherland, J. F. (1992). Circadian rhythms and feeding time in fishes. *Environmental Biology of Fishes, 35*(2), 109–131. https://doi.org/10.1007/BF00002186

d'Orbcastel, E. R., Lemarié, G., Breuil, G., Petochi, T., Marino, G., Triplet, S., Fauconneau, B., and Blancheton, J. P. (2010). Effects of rearing density on sea bass (*Dicentrarchus labrax*)

biological performance, blood parameters and disease resistance in a flow through system. *Aquatic Living Resources, 23*(1), 109–117. https://doi.org/10.1051/alr/2009056

Dwyer, K. S., Brown, J. A., Parrish, C., and Lall, S. P. (2002). Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*). *Aquaculture, 213*(1–4), 279–292. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00120-8

Eriegha, O. J., and Ekokotu, P. A. (2017). Factors affecting feed intake in cultured fish species: A review. *Animal Research International, 14*(2), 2697–2709.

Fryxell, D. C., Arnett, H. A., Apgar, T. M., Kinnison, M. T., and Palkovacs, E. P. (2015). Sex ratio variation shapes the ecological effects of a globally introduced freshwater fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 282*(1820), 20151970. https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1970

FAO, (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022, https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0461

Gerking, S. D. (2014). *Feeding ecology of fish*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2009-0-00128-1.

Griffiths, S. W. (1996). Sex differences in the trade-off between feeding and mating in the guppy. *Journal of Fish Biology, 48*(5), 891–898. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1996.tb01481.x.

Gross, Mart R.; Coleman, Ronald M.; McDowall, Robert M. (1988). "Aquatic Productivity and the Evolution of Diadromous Fish Migration". Science. 239 (4845): 1291–1293. doi:10.1126/science.239.4845.1291

Handeland, S. O., Imsland, A. K., and Stefansson, S. O. (2008). The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture, 283*(1–4), 36–42. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.042

Hepher, B. (2009). *Nutrition of pond fishes*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511735455

Isyagi, N., Atukunda, G., Aliguma, L., Sebisubi, M., John, W., Kubiriza, G., and Mbulameri, E. (2009). *Assessment of national aquaculture policies and programmes in Uganda*. SARNISSA EC FP7 Project, University of Stirling.

Jenkins, L.E., Medeiros, L.R., Graham, N.D., Hoffman, B.M., Cervantes, D.L., Hatch, D.R., et al. 2023. Feeding after spawning and energy balance at spawning are associated with repeat

spawning interval in steelhead trout. Gen. Comp. Endocrinol. 332: 114181. doi:10.1016/ j.ygcen.2022.114181.

Kasumyan, A. O., and Døving, K. B. (2003). Taste preferences in fishes. *Fish and Fisheries, 4*(4), 289–347. https://doi.org/10.1046/j.1467-2979.2003.00121.x

Kaushik, S. J. (2013). Feed management and on-farm feeding practices of temperate fish with special reference to salmonids. In M. R. Hasan and M. B. New (Eds.), *On-farm feeding and feed management in aquaculture* (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583, pp. 519–551). FAO.

Kraus, N. J., O'Neill, M. W., and Gibb, A. C. (2004). Sexual dimorphism in the feeding kinematics of *Betta splendens*. *Integrative and Comparative Biology, 44*(6), 715. https://doi.org/10.1093/icb/44.6.715

M. Kocabas; Kayim, M., Can, E., Ates, M.,, Kizak, V., Kutluyer F., Demirtas, N., Serdar, O., (2011). Stomach Contents and Food Habits of Brown Trout (*Salmo trutta* L., 1758) in the Munzur Stream, Turkey. Journal Of Animal and Veterinary Advances, vol.10, no.24, pp.3188-3191.

M. Kocabas; Kayim, M., Can, E., Ates, M.,, Kizak, V., Kutluyer F., Demirtas, N., Serdar, O., (2012). Seasonal variation in food preference of the brown trout *Salmo trutta macrostigma* (T., 1954) from Uzungöl Stream, Turkey," Afrıcan Journal of Agrıcultural Research , vol.7, no.13, pp.1982-1987.

McDermott, Amy (2025). "Where do fish go and why? For many species, nobody knows". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. **122** (21). doi:10.1073/PNAS.2510827122. PMC 12130897

Lauerburg, R. A. M., Keyl, F., Kotterba, P., Floeter, J., and Temming, A. (2015). Sex-specific food intake in whiting *Merlangius merlangus*. *Journal of Fish Biology, 86*(6), 1729–1753. https://doi.org/10.1111/jfb.12678

Licandeo, R. R., Barrientos, C. A., and González, M. T. (2006). Age, growth rates, sex change and feeding habits of notothenioid fish *Eleginops maclovinus* from the central-southern Chilean coast. *Environmental Biology of Fishes, 77*(1), 51–61. https://doi.org/10.1007/s10641-005-1952-1

Lloyd, R. Pollution and Freshwater Fish. Fishing News Boks. A Division of Blackwell Scientific Publications Limited, Great Britain, (1992), 176 s.

Lv, H. B., Ma, Y., Hu, C. T., Lin, Q. Y., Yue, J., Chen, L. Q., Liu, Y. H., and Sun, Z. W. (2021). The individual and combined effects of hypoxia and high-fat diet feeding on nutrient

composition and flesh quality in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Food Chemistry, 343*, 128479. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128479

McGee, M. D., and Wainwright, P. C. (2013). Sexual dimorphism in the feeding mechanism of threespine stickleback. *Journal of Experimental Biology, 216*(5), 835–840. https://doi.org/10.1242/jeb.078592

National Research Council. (1987). *Predicting feed intake of food-producing animals*. National Academy Press. https://doi.org/10.17226/952

Nwosu, B. F. M., and Holzlöhner, S. (2000). Effect of light periodicity and intensity on the growth and survival of *Heterobranchus longifilis* Val. 1840 (Teleostei: Clariidae) larvae after 14 days of rearing. *Journal of Applied Ichthyology, 16*(1), 24–26. https://doi.org/10.1046/j.1439-0426.2000.00145.x.

Paspatis, M., Boujard, T., Maragoudaki, D., Blanchard, G., and Kentouri, M. (2003). Do stocking density and feed reward level affect growth and feeding of self-fed juvenile European sea bass? *Aquaculture, 216*(1–4), 103–113. https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00417-9

Refaey, M. M., Li, D., Tian, X., Zhang, Z., Zhang, X., Li, L., and Tang, R. (2018). High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture, 492*, 73–81. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.04.003

Ronco, F., Roesti, M., and Salzburger, W. (2019). A functional trade-off between trophic adaptation and parental care predicts sexual dimorphism in cichlid fish. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 286*(1909), 20191050. https://doi.org/10.1098/rspb.2019.1050

Schmitt, J. D., Gedamke, T., DuPaul, W. D., and Musick, J. A. (2015). Ontogenetic and sex-specific shifts in the feeding habits of the barndoor skate. *Marine and Coastal Fisheries, 7*(1), 409–418. https://doi.org/10.1080/19425120.2015.1046330

Soares, B. E., Lobato, C. M. C., Freitas, D. T. H., Raiol, R. D., and Montag, L. F. d. A. (2016). Sex differences on the feeding of the gobiid fish *Bathygobius soporator* in tide pools of Maiandeua Island, Pará, Brazil. *Iheringia. Série Zoologia, 106*, e2016008. https://doi.org/10.1590/1678-4766e2016008

Toguyeni, A., Fauconneau, B., Boujard, T., Fostier, A., Kuhn, E. R., Mol, K. A., and Baroiller, J. F. (1997). Feeding behaviour and food utilisation in tilapia, *Oreochromis niloticus*: Effect of sex ratio and relationship with the endocrine status. *Physiology & Behavior, 62*(2), 273–279. https://doi.org/10.1016/S0031-9384(97)00114-5

TOB, (2023). Tarım ve Orman Bakanlığı. Balıkçılık ve Su Ürünleri Genel Müdürlüğü verileri Ankara, 2023.

van de Pol, I., Flik, G., and Gorissen, M. (2017). Comparative physiology of energy metabolism: Fishing for endocrine signals in the early vertebrate pool. *Frontiers in Endocrinology, 8*, 36. https://doi.org/10.3389/fendo.2017.00036

Volkoff, H., Hoskins, L. J., and Tuziak, S. M. (2010). Influence of intrinsic signals and environmental cues on the endocrine control of feeding in fish: Potential application in aquaculture. *General and Comparative Endocrinology, 167*(3), 352–359. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2010.04.005

Volkoff, H., and Rønnestad, I. (2020). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature, 7*(4), 307–320. https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1765950

Yoshikawa, M. (2013). Sex differences in growth rates of early life stage Japanese eels *Anguilla japonica* under experimental conditions. *Journal of Fish Biology, 83*(3), 588–597. https://doi.org/10.1111/jfb.12189.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Tablo 1. Farklı balık türlerinde cinsiyetin yem alımı ve beslenme üzerindeki etkileri

Tür	Faktör	Etki	Araştırmacı
Poecilia reticulata	Beslenme ve eşleşme davranışları arasındaki cinsiyete bağlı ödül–maliyet farklarını incelemek	Dişi bireyler beslenmeye öncelik verirken, erkekler eşleşme fırsatlarını takip etmekte, erkekler beslenme süresinden ödün vererek daha fazla çiftleşme şansı elde etmekte, cinsiyetler arası ödül-maliyet davranış stratejilerini ve enerji kullanımını belirlemekte, bu farklılıklar cinsiyete bağlı adaptif stratejilerin göstergesi	Griffiths (1996)
Oreochromis niloticus	Cinsiyet oranı ve endokrin durumun beslenme davranışı ve besin kullanım verimliliği üzerindeki etkilerini incelemek	Erkek monoseks grupları daha yüksek büyüme hızına sahip, ancak yem dönüşüm oranları düşük, dişi monoseks gruplarında gönüllü yem tüketimi yüksek, büyüme hızı orta, yem dönüşüm oranı yüksek.	Toguyeni ve ark. (1997)
Oreochromis niloticus	Besin yetersizliği sonrası erkek ve dişi bireylerin telafi edici büyüme tepkilerini incelemek	10 günlük açlık sonrası erkeklerde, dişilere göre daha hızlı büyüme, erkeklerde yem tüketiminde daha yüksek hiperfaji	Barreto ve ark. (2003)
Betta splendens	Beslenme mekanikleri	Erkek ve dişiler, beslenme sırasında çene açma ve kafatası hareketlerinde farklılıklar, cinsiyete bağlı beslenme mekanizmasında farklılıklar	Kraus ve ark. (2004)
Anguilla japonica	Erken yaşam evresindeki bireylerde cinsiyetler arası büyüme farklarını deneysel koşullarda incelemek	Beslenme kısıtlaması dişi oranını artırmakta	Yoshikawa (2013)
Gasterosteus aculeatus	Erkek ve dişi bireylerin beslenme mekanizmasındaki cinsel dimorfizmi incelemek	Erkek ve dişilerde kafatası ve çene kasları morfolojisinde belirgin farklılıklar, erkekler daha güçlü ısırma kapasitesine sahipken, dişiler daha hızlı çene hareketi, cinsel dimorfizm, beslenme verimliliği ve avlanma stratejilerini etkili	McGee ve Wainwright (2013)
Merlangius merlangus	Mide içeriği ve karaciğer kütlesi karşılaştırması	Aynı boydaki dişilerin mide içeriği ve karaciğer ağırlığı erkeklerden yüksek; enerji dağılımında cinsiyete bağlı farklılıklar	Lauerburg ve ark. (2015)
Gambusia spp.	Beslenme hızı ve av büyüklüğü tercihi	Dişiler, vücut birimi başına daha yüksek beslenme hızına sahip ve erkeklere kıyasla daha büyük avları tercih	Fryxell ve ark. (2015)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Dipturus laevis	Diyet bileşimi ve diş yapısındaki farklılıklar	Erkekler ağırlıklı olarak kemikli balık tüketirken, dişiler balık ve kabukluları yaklaşık eşit oranda tüketiyor; bu cinsiyete bağlı diş yapısından etkilenebilir.	Schmitt ve ark. (2015)
Eleginops maclovinus	Yaş, büyüme, cinsiyet değişimi ve beslenme alışkanlıkları	10 yıla kadar yaşar; 105 cm'ye kadar büyür; erkekler ~36 cm ve 5 yaş civarında dişiye dönüşür; beslenme gençlerde estuar türleri, yaşlılarda deniz türleri ile değişir	Licandeo ve ark. (2006)
Bathygobius soporator	Cinsiyetin beslenme üzerindeki etkileri	Tür genel olarak fırsatçı/omnovor; diyetin ana bileşeni kabuklular. Erkekler, dişilere kıyasla daha az kabuklu tüketip algleri diyete daha çok katar.	Soares ve ark. (2016)
Herotilapia multispinosa	beslenme adaptasyonu ve ebeveyn bakımının fonksiyonel çatışmasının cinsel dimorfizmi nasıl şekillendirdiğini incelemek	Cinsel dimorfizm derecesi beslenme ekolojisiyle ilişkili, cinsel dimorfizmin hem cinsel seçilim hem de fonksiyonel çatışmalarla evrimleşebileceği	Ronco ve ark. (2019)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

JEOLOJİK AFETLERİN İZLENEMSİ VE BELİRLENMESİNDE INSAR YAKLAŞIMI: TÜRKİYE VE İRAN ÖRNEKLERİYLE BİR DEĞERLENDİRME

INSAR APPROACH FOR MONITORING AND IDENTIFYING GEOLOGICAL HAZARDS: AN EVALUATION BASED ON CASE STUDIES FROM TÜRKIYE AND IRAN

Dr. Marjan TOURANI[1]

[1]m_tourani57@yahoo.com - https://orcid.org/0000-0003-3965-2244

ÖZET

Son yıllarda artan jeolojik afetler; depremler, heyelanlar, volkanik faaliyetler ve yer çökmeleri gibi olayların erken tespit edilmesini ve izlenmesini her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR) tekniği, geniş alanları kapsayan, yüksek mekansal çözünürlüğü sahip, her türlü hava koşulunda çalışabilen yapısıyla yüzey deformasyonlarını yüksek hassasiyetle izleyerek bu alanda önemli bir yenilik sunmuştur. Bu çalışma, InSAR yönteminin Türkiye ve İran gibi aktif tektonik bölgelerden örneklerle jeolojik tehlikelerin izlenmesi ve değerlendirilmesindeki rolünü incelemektedir.

InSAR yöntemiyle elde edilen deformasyon haritaları, bir volkanın patlama öncesinde, sırasında ve sonrasındaki yüzey değişimlerini izleyerek magma dinamikleri hakkında temel bilgiler sağlar ve böylece volkanik tehlikelerin azaltılmasına yönelik önlemlerin geliştirilmesine katkı sunar. Sismik olarak aktif bölgelerde ise, yüzey deformasyonlarının mekansal ve zamansal desenlerini belirlemek, kırılma dinamiklerini anlamak ve sismik tehlikeleri öngörmek açısından büyük önem taşır. Bu bağlamda, InSAR yöntemi aktif ya da gömülü fayların konumu, yer değiştirme miktarı ve kayma yönünün belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca heyelanların nasıl geliştiğini ve tetiklendiğini tespit etmek, bu tür olayların doğurabileceği tehlikeleri en aza indirmek için kritik bir adımdır. Yer çökmelerinin haritalanması ise hem tektonik hareketlere bağlı hem de yer altı suyu veya petrol rezervuarı kullanımı sonucu gelişen çökmelerin anlaşılmasına olanak sağlar.

Bu çalışma kapsamında incelenen örneklerde, yukarıda belirtilen bulgular doğrulanmış olup, elde edilen sonuçlar InSAR verilerinin risk azaltımı ve afet yönetimi süreçlerine başarıyla entegre edilerek, potansiyel tehlikelerin önceden tespit edilmesine, müdahale planlarının geliştirilmesine ve kaynakların daha etkin kullanılmasına önemli katkılar sağladığı görülmüştür. Elde edilen bulgular, InSAR tekniği, jeolojik tehlikelerin hem izlenmesi hem de karar destek sistemlerine entegre edilmesi açısından stratejik bir araç olduğunu göstermektedir

Anahtar Kelimeler : Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR), Deformasyon, Jeolojik Afetler, Afet Yönetimi

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HAVACILIK OPERASYONLARINDA İNSAN FAKTÖRÜ: PSİKOLOJİK ETMENLERİN GÖRECE ÖNEMİ[1]

Tuğçe AKPINAR
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi,
tugceakpinar02@gmail.com - ORCID ID: 0009-0007-5430-4543

Dr. Öğr. Üyesi Zafer DURAN
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Gazipaşa MRB Meslek Yüksekokulu,
zafer.duran@alanya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-7227-4196

ÖZET

Havacılık operasyonlarının karmaşık ve yüksek riskli yapısı, insan faktörünü emniyet ve operasyonel bütünlüğün merkezine yerleştirmektedir. Modern havacılık sistemlerinde otomasyon düzeyi artmış olsa da operasyonların kritik anlarında durumu doğru okuma, değişken koşullara uyum sağlama ve güvenlik açısından önem taşıyan kararları verme sorumluluğu büyük ölçüde insan unsurunda kalmaktadır. Bu nedenle çalışanların zihinsel süreçleri, stres düzeyleri, dikkat kapasitesi ve çevresel uyaranları değerlendirme biçimleri operasyonların güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Bu bağlamda psikolojik faktörler, insan faktörünün operasyonel sonuçlara en hızlı yansıyan boyutlarından biri olarak özel bir önem taşımaktadır. Bu çalışmada söz konusu psikolojik faktörlerin havacılık operasyonları bakımından göreceli önem düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda yeterlilik algısı, durum değerlendirme yeteneği, yorgunluk, algılama kapasitesi ve karar verme becerisi olmak üzere beş psikolojik faktör ele alınmış ve havacılık alanında deneyimli beş akademisyenin görüşlerine dayalı karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde uzman görüşlerindeki belirsizliği daha doğru yansıtmak amacıyla da bulanık AHP yaklaşımı tercih edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, karar verme becerisinin en baskın psikolojik boyut olduğunu, bunu algılama yeteneği ve yorgunluğun izlediğini ortaya koymuştur. Bu durum, havacılıkta operasyonel performansın bilişsel yükü karşılama ve zihinsel dayanıklılığı sürdürme kapasitesiyle yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Havacılık operasyonları, Operasyonel yönetim, Operasyonel performans, İnsan faktörü, Bulanık AHP

[1] Havacılık Sektöründe Çalışanlar Üzerinde Etkili Olan Psikolojik Faktörlerin Bulanık AHP Yöntemi ile Değerlendirilmesi başlıklı lisans bitirme projesinden üretilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HUMAN FACTORS IN AVIATION OPERATIONS: THE RELATIVE IMPORTANCE OF PSYCHOLOGICAL FACTORS

ABSTRACT

The complex and high-risk nature of aviation operations place the human factor at the center of safety and operational integrity. Although the level of automation has increased in modern aviation systems, the responsibility for accurately interpreting situations, adapting to variable conditions, and making safety-critical decisions during crucial moments of operations still largely rests with the human element. Therefore, employees' cognitive processes, stress levels, attention capacity, and ways of evaluating environmental stimuli directly affect the reliability of operations. Within this framework, psychological factors hold particular importance as one of the dimensions of the human factor that most rapidly translate into operational outcomes. This study aims to determine the relative importance levels of these psychological factors in terms of aviation operations. Accordingly, five psychological factors (perceived competence, situation assessment ability, fatigue, perception capacity, and decision-making ability) are examined, and a comparative analysis based on the opinions of five academicians experienced in the field of aviation is conducted. In the analysis process, the fuzzy AHP approach is preferred to more accurately reflect the uncertainty inherent in expert judgments. The findings reveal that decision-making ability is the most dominant psychological dimension, followed by perception ability and fatigue. This indicates that operational performance in aviation is closely related to the capacity to cope with cognitive load and to sustain mental resilience.

Keywords: Aviation operations, Operational management, Operational performance, Human factors, Fuzzy AHP

1. GİRİŞ

Havacılık endüstrisi dinamik yapısı ve sürekli değişen gereksinimleriyle anlık uyum ve yüksek düzeyde eşgüdüm gerektiren bir faaliyet alanıdır. Bu nedenle havacılık operasyonlarında çok sayıda aktör süreçlere eş zamanlı olarak dahil olmakta ve kararlar zaman baskısı ile değişken koşullar altında, kesintisiz koordinasyon gerektiren bir akış içinde alınmaktadır. Verilecek bir hatalı karar ya da ihmal edilen küçük bir bilgi, zincirleme sonuçlar doğurarak operasyonel aksamalara, maliyet artışına ve emniyet risklerinin yükselmesine yol açabilmektedir. Her ne kadar modern havacılık teknolojileri bu karmaşıklığı yönetmede önemli kolaylıklar sağlasa da sistemlerin doğru yapılandırılması, verinin doğru yorumlanması ve kritik anlarda uygun kararın verilebilmesi halâ insan muhakemesine dayanmaktadır.

Havacılık operasyonlarında insan faktörü, teknolojik altyapı ne kadar gelişmiş olursa olsun karar kalitesi, iletişim doğruluğu ve koordinasyonun sürekliliği üzerinden operasyonun genel performansını doğrudan etkilemektedir. Pilot, hava trafik kontrolörü, bakım ve yer hizmetleri gibi farklı rollerin aynı anda ve birbirine bağımlı biçimde çalıştığı bu ortamda durumsal farkındalık, dikkat yönetimi, iş yükü, yorgunluk ve ekip içi etkileşim gibi değişkenler hataların oluşumunda belirleyici olabilmektedir. Küçük bir algı yanlılığı, eksik bir bilgi aktarımı ya da zaman baskısı altında yapılan hatalı bir önceliklendirme, sürecin diğer halkalarına hızla yayılabilmektedir. Bununla birlikte standart dışı olaylarda durumun doğru okunması ve uygun tepkinin hızla verilebilmesi, büyük ölçüde insan performansının o anki bilişsel kapasitesine ve

psikolojik dayanıklılığına bağlıdır. Bu nedenle havacılıkta insan faktörünün görev dağılımı ve prosedür uyumu gibi sınırlı bir çerçeveyle ele alınması insan kaynaklı risklerin yanlış tanımlanmasına ve müdahale önceliklerinin hatalı belirlenmesine neden olabilmektedir. Nitekim aynı teknik koşullar sağlansa bile stres düzeyi, belirsizlikle başa çıkma biçimi ve zihinsel yorgunluk gibi psikolojik etkenler, kişinin çevreden hangi ipuçlarını fark ettiğini ve bu ipuçlarına nasıl anlam verdiğini değiştirerek kararın yönünü belirleyebilmektedir. Özellikle yüksek sorumluluk ve zaman baskısının birleştiği anlarda personelin dikkat alanı daralabilmekte, daha az veriyle daha hızlı sonuca gitme eğilimi güçlenmekte ve bu durum kişinin alternatifleri tartma kapasitesini zayıflatabilmektedir.

İnsan faktörünün havacılık operasyonlarında belirleyici bir role sahip olması, bu alanı bilimsel araştırmalar açısından öncelikli ve süreklilik arz eden bir inceleme konusu hâline getirmektedir. Nitekim literatürdeki çalışmalar insan faktörünü tekil hatalardan ibaret görmeyip yorgunluk, stres, psikolojik kaynaklar ve örgütsel koşullar gibi çok katmanlı belirleyiciler üzerinden ele alarak emniyet yönetimine daha bütüncül bir perspektif kazandırmaktadır. Örneğin Çelikkol'un (2017) askeri havacılık bağlamındaki çalışması, yorgunluğun fizyolojik etkilerini ve bu etkilerin Havacılık Emniyeti Yönetim Sistemi içindeki yerini ayrıntılı biçimde tartışarak, artan teknolojik karmaşıklık altında personelde uzun süreli fiziksel yeterlilik ile zihinsel dayanıklılığın görev icrası ve uçuş güvenliği açısından kritik bir gereklilik olduğunu göstermektedir. Benzer biçimde Karakuş (2006), kazaların önemli bir bölümünün insan hatalarıyla ilişkili olduğuna dikkat çekmekte ve bu kazaları önleyebilmek için proaktif yaklaşımlara ihtiyaç bulunduğunu vurgulamaktadır. Başdemir (2020) ise insan faktörünün uçuş emniyetindeki ağırlığını daha doğrudan biçimde ortaya koyarak, insan performansını artırmaya dönük kurumsal iklim, adil yönetim, uçuşa hazırlık ve kural uyumu gibi örgütsel ve davranışsal iyileştirme alanlarının emniyet çıktılarıyla ilişkisini nitel bulgular üzerinden temellendirmektedir. Öte yandan sivil havacılık çalışanlarına odaklanan Çapan ve Aydın (2021), işe bağlı stresin psikolojik iyi oluş üzerindeki etkisini gösterirken, bireylerin güçlü yönlerine odaklanma ve stresle başa çıkma becerilerini geliştirme gibi psikolojik kaynakların güçlendirilmesinin hem çalışan iyilik hâli hem de iş çıktıları açısından değerli olduğunu ortaya koymaktadır. Kanbur'un (2018) savunma sanayii bağlamında yürüttüğü çalışma da bu çizgiyi örgütsel düzleme taşıyarak, psikolojik güçlendirmenin performansı artırdığını ve işten ayrılma niyetini azalttığını gösteren bulgularıyla insan faktörünün destekleyici örgütsel iklim ve yönetim pratikleriyle birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Bu çalışmada ise havacılık sektöründe çalışanlar üzerinde etkili olduğu değerlendirilen psikolojik faktörlerin göreli önem düzeyleri Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci yaklaşımıyla belirlenerek bu faktörlerin havacılık operasyonları açısından göreli önemlerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda alanında uzman akademisyenlerin görüşlerine başvurularak söz konusu psikolojik faktörler karşılaştırmalı bir biçimde değerlendirilmiş ve önceliklendirilmiştir.

2. HAVACILIKTA İNSAN FAKTÖRLERİ

İnsanın sahip olduğu beceriler, refleksler, bilgi ve eğitim düzeyi, muhakeme yeteneği, dikkat kapasitesi, stres düzeyi, duygusal durumu, kişilik özellikleri ve fiziksel sağlığı, uçuş emniyetini doğrudan etkileyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. İnsan faktörü tek bir tanım altında

sınırlandırılamasa da bu unsurlar birlikte değerlendirildiğinde kavramsal çerçevesine yaklaşmak mümkün hâle gelmektedir (Yüksel vd., 2006). Nitekim havacılıkta insan faktörü, insanın sınırlılıkları ve yetenekleri ile sonradan geliştirilebilen bilgi, beceri ve davranışlarının uçuşla ilişkili tüm sistemlerle bütünleşik biçimde ele alınmasını ifade eden bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Koonce, 2002). Bununla birlikte havacılık sektörü hızla gelişen teknolojinin etkisiyle giderek daha karmaşık sistemlere, ekipmanlara ve operasyonel yapılara sahip hâle gelmektedir. Bu karmaşıklık insan unsurunun sistem içindeki merkezi rolünü azaltmak yerine, daha da kritik bir konuma taşımaktadır. İnsan faktörünün edindiği bu merkezi konum doğal olarak hata olasılığını da artırmaktadır. Nitekim yapılan araştırmalar, havacılıkta meydana gelen kaza ve olayların yaklaşık %70–80'inin insan kaynaklı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu tür hataların sonuçları, havacılığın doğası gereği, can ve mal kaybına varabilecek düzeyde ağır olabilmektedir. Dolayısıyla insanların etkili bir şekilde yönetilmesi, eğitilmesi ve performanslarının takip edilmesi hayati bir önem arz etmektedir (Tamer 2021). Ancak insan faktörü tek boyutlu bir yapı olmayıp fiziksel, bilişsel ve psikolojik bileşenlerin etkileşimiyle şekillenen çok yönlü bir olgudur. Bu çalışmada ise psikolojik faktörler odak noktası olarak ele alınmıştır ve aşağıda detaylandırılmıştır.

2.1. Havacılıkta Psikolojik İnsan Faktörleri

Psikolojik dayanıklılık, zorluklar ve problemlerle karşılaşıldığında başarı elde etmek için bireyin kendisini toparlaması, başarıya odaklanması ve bu yolda amacını sürdürmesi olarak tanımlanabilir (Richardson, 2002). Psikolojik dayanıklılık kişinin bir tehlike ile yüz yüze geldiğinde o duruma uyum sağlamasını sağlayan özellikler ve koruyucu mekanizmaların tümüdür (Benard, 1991). Bu nedenle psikolojik dayanıklılığı yüksek olan bir kişi yaşadığı olumsuz olaylar karşısında değişime kolay uyum sağlayabilir. Psikolojik dayanıklılığı yüksek olan iş gören, örgütteki politika algısının getirdiği olumsuzluklarla da mücadele ederek, çalışma ortamını kendisi açısından daha iyi bir noktaya getirebilir (Erkutlu ve Soyumert, 2020). Gerçekleştirilecek olan uçuş ve operasyonların güvenliği, emniyeti ve verimliliği psikolojik faktörlerle doğrudan ilişkilidir. Bir operasyonun emniyetli ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için rol üstlenen hava trafik kontrolörleri, bakım personelleri, yer hizmetleri personelleri, pilotlar vb. gibi havacılık çalışanları, yoğun stres, zaman baskısı ve iş yükü altında hızlı ve doğru kararlar almak zorundadır. Stres ve yorgunluk gibi olumsuz psikolojik faktörler çalışanların karar alma, durum değerlendirme gibi kritik öneme sahip performanslarını olumsuz yönde etkileyerek kaza ve hata oranını arttırabilir. Bu nedenle psikolojik faktörlerin havacılık operasyonları üzerindeki etkilerini anlamak ve bu riskleri en aza indirgemek için gerekli önlemleri almak büyük önem taşımaktadır.

2.1.1. Yeterlilik Faktörü

Yeterlilik faktörü bireyleri belirli iş veya görevleri yerine getirme yeteneği veya becerisi olarak tanımlanabilir. Yeterlilik faktörü havacılık sektöründe görev alan birçok personelin eğitim süreçlerini tamamladıktan sonra üstlendikleri görev veya sorumlulukları başarıyla yerine getirme kapasitesini belirler. Aynı zamanda bu faktör emniyetli ve güvenli bir uçuş için gerekli olan kritik faktörler arasında yer almaktadır. Nitekim öz-yeterliği yüksek olan kişilerin daha mücadeleci ve sorunlarla baş etme noktasında daha fazla emek sarf ettikleri tespit edilmiştir (Asarlı, 2012). Diğer taraftan bireyler hedeflerine ulaşmak için yeterli düzeyde bilgi ve beceriye

sahip olsalar dahi eğer öz-yeterlik algıları düşük ise kendilerine yönelik olumsuz algıları nedeniyle yaptıkları işten çabuk vazgeçerek başarısız olurlar (Arslan, 2019; Yıldırım ve İlhan, 2010).

2.1.2. Durum Değerlendirme Faktörü

Durum değerlendirmesi, bireylerin içinde bulundukları koşulları ve değişken çevresel şartlar altında ortaya çıkan yeni durumları bütüncül biçimde algılayarak uygun kararlar verebilme yetkinliğiyle ilgilidir. Nitekim Kaynak ve Yaslıdağ (2023) durum değerlendirmesini mevcut ve ilgili bilgilerin algılanması ve kavranmasının yanı sıra, operasyonu etkileyebilecek olası gelişmelerin öngörülmesini de içeren dinamik bir bilişsel süreç olarak tanımlamaktadır. Havacılık sektöründe durum değerlendirmesi, güvenlik ve emniyetin sürdürülebilmesi açısından son derece kritik bir rol üstlenmektedir. Sektörde farklı departmanlarda görev yapan personelin, değişken ve belirsiz koşullar altında eldeki bilgileri doğru şekilde yorumlayarak hızlı ve isabetli kararlar alabilmesi, operasyonel sürekliliğin ve emniyet düzeyinin korunmasında belirleyici olmaktadır.

2.1.3. Yorgunluk Faktörü

Yorgunluk, havacılık personelinin performansını olumsuz yönde etkileyen bir diğer önemli faktördür. Çalışma sürelerinin uzunluğu, iş yükünün yoğunluğu ve fiziksel faaliyetlerin niteliği, çalışanlarda yorgunluğun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Havacılık sektöründe yorgunluk sorunlarının merkezinde, operasyonel planlama gereklilikleri ile insanın fizyolojik yapısı arasındaki uyumsuzluk yer almaktadır. Günümüz modern havacılığında yaygınlaşan çoklu uçuş ayakları, uzun görev süreleri, sınırlı dinlenme aralıkları, kısa raporlama zamanları, uygun olmayan uyku koşulları, dönüşümlü ve standart dışı vardiya düzenleri ile jet-lag olgusu, pilotlar, kabin ekibi ve diğer havacılık personeli açısından temel biyolojik kapasiteleri zorlayan ciddi riskler oluşturmaktadır (Caldwell, 2005). Yorgunluk durumu bilişsel işlevleri zayıflatarak dikkat, algılama ve karar verme süreçlerini olumsuz etkilemekte ve hata yapma olasılığını artırmaktadır. Bu nedenle havacılık emniyeti ve güvenliği açısından mümkün olan en düşük düzeyde tutulması gereken kritik bir insan faktörü olarak değerlendirilmektedir.

2.1.4. Algılama Yeteneği Faktörü

Algılama yeteneği bireylerin çevresinde oluşan durumları, uyarılar ve sinyaller sayesinde doğru bir şekilde anlayabilmesini ve yorumlayabilmesini sağlayan bilişsel bir yetidir. Özarslan (2014), algılamayı kişinin deneyimleriyle birlikte o andaki uyaranı dikkate alıp bilişsel bir süreçten geçirerek yeni bir bütüne ulaşmasıdır şeklinde dile getirmektedir. Algılama süreci çevreden alınan uyaranların duyumsanmasıyla başlamaktadır. Elde edilen duyumdan hareketle kişisel ve çevresel etmenler de göz önünde bulundurularak tepki verme, anlama, ilgi gösterme şeklinde çeşitli eylemlerle algılama süreci gerçekleşmektedir. Havacılık sektöründe çalışan personellerin etkin bir algılama yeteneğine sahip olması güvenlik ve emniyeti doğrudan etkilemektedir. Personellerin görsel ve işitsel uyaranları doğru şekilde algılaması, doğru kararlar almalarına katkı sağlamaktadır.

2.1.5. Karar Verme Faktörü

Karar verme, bireyin, yöneticinin ya da bir örgütün mevcut alternatifler arasından belirli bir seçeneği tercih etmesine yönelik bilişsel bir süreçtir. Güner (2006) karar vermeyi, ortaya çıkan

bir ihtiyacın karşılanması amacıyla mevcut seçenekler arasından duruma en uygun olanın seçilmesini içeren bilişsel bir faaliyet olarak tanımlamakta ve bu sürecin özellikle karmaşık ve risk içeren ortamlarda daha da kritik hâle geldiğini vurgulamaktadır. Havacılık bağlamında bu süreç yüksek sorumluluk, zaman baskısı ve belirsizlik koşulları altında gerçekleştiğinden kararların niteliği büyük ölçüde karar vericinin psikolojik durumuyla yakından ilişkilidir. Biyolojik, psikolojik, sosyolojik, çevresel ve kurumsal unsurlar karar verme sürecini etkileyen başlıca faktörler arasında yer almakta; algılama ve yorumlama biçimi, duygusal durum, stres düzeyi, değer yargıları, kişilik özellikleri ve geçmiş deneyimler, havacılık operasyonlarında verilen kararların yönünü belirleyebilmektedir. Nitekim karar verme, havacılık yönetiminin ve operasyonel süreçlerin merkezinde yer almaktadır. Emniyet, süreklilik ve performans gibi temel çıktılar doğrudan bu sürecin kalitesine bağlı şekillenmektedir.

3. METODOLOJİ

Bu çalışma havacılık operasyonlarında insan faktörü kapsamında ele alınan ve yukarıda genel hatlarıyla açıklanan psikolojik etmenlerin görece önem düzeylerini uzman yargılarına dayalı bir şekilde belirlemek için tasarlanmıştır. Psikolojik etmenlerin nicel ölçümündeki güçlükler ve uzman yargılarındaki belirsizlikler nedeniyle çalışma bulanık mantık temelli Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) çerçevesinde kurgulanmıştır.

Değerlendirmeye alınan faktörler, oluşturulan kavramsal çerçeve doğrultusunda belirlenen beş psikolojik etmenden oluşmaktadır. Söz konusu etmenler yeterlilik algısı, durum değerlendirme yeteneği, yorgunluk, algılama kapasitesi ve karar verme becerisidir. Etmenlerin göreli önemlerinin belirlenmesi amacıyla havacılık alanında deneyimli beş akademisyenin uzman görüşüne başvurulmuştur. Veri toplama aracı olarak ikili karşılaştırma mantığına dayalı yapılandırılmış bir değerlendirme formu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında uzmanlar her bir etmen çiftini dilsel ifadelerle karşılaştırmış ve bu ifadeler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülerek bulanık karar matrisleri elde edilmiştir. Ardından her bir uzmanın oluşturduğu bulanık ikili karşılaştırma matrisi birleştirilmiş ve grup değerlendirmesini temsil eden uzlaşık bulanık karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Birleştirme aşamasında grup kararını temsil etmek üzere geometrik ortalama yaklaşımı kullanılmıştır. Değerlendirmeye alınan kriterler ve uzmanlar için tanımlanan kodlar, Tablo 1'de detaylandırılmıştır.

Tablo 7. Araştırmada Kullanılan Kodlar ve Açıklamaları

KOD	Açıklama
C1	Yeterlilik
C2	Durum değerlendirme
C3	Yorgunluk
C4	Algılama yeteneği
C5	Karar verme becerisi
Uzm1	Uzman 1
Uzm2	Uzman 2
Uzm3	Uzman 3
Uzm4	Uzman 4
Uzm5	Uzman 5

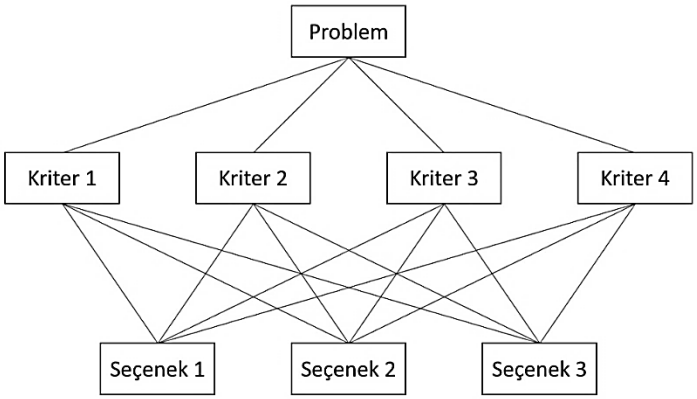
Veri toplama süreci, araştırma etiği ilkelerine azami hassasiyet gösterilerek yürütülmüştür. Çalışmaya katılan uzmanlara araştırmanın amacı ve kapsamı hakkında bilgi verilmiş, katılımın

gönüllülük esasına dayandığı açıkça belirtilmiştir. Uzman görüşleri anonim olarak toplanmış, kişisel bilgiler gizli tutulmuş ve elde edilen veriler bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Verilerin analizinde insan kaynaklı hataların önüne geçebilmek amacıyla bilgisayar yazılımlarından yararlanılmıştır.

3.1. Bulanık AHP Yöntemi

AHP, ikili karşılaştırmalar ile kriterlerin ve seçeneklerin görece önem derecesini, tercih edilirliğini veya baskınlığını belirleyen çok kriterli bir karar verme yöntemidir. Bu yaklaşım, bir bireyin veya grubun önceliklerini göz önüne alarak karar verme sürecinde nitel ve nicel faktörleri eş zamanlı olarak ele alabilme olanağı sunmaktadır (Dağdeviren vd., 2004). Bununla birlikte AHP, karar vericilere kendi mekanizmalarını oluşturarak süreci daha etkili hale getirme fırsatı tanıyan bir yöntemdir (Satty, 1986). Bu yöntem, karmaşık problemlerin çözümünde hiyerarşik bir yapı kullanarak sorunların üstesinden gelmeyi sağlamaktadır. Hiyerarşinin en üstünde problem, onun altında problem değerlendirmesinde kullanılan kriterler ve en altta ise seçenekler bulunur. Şekil 1'de AHP için örnek bir hiyerarşik yapıyı göstermektedir.

Şekil 1. AHP Hiyerarşik yapısı



AHP, kolay uygulanabilirliği nedeniyle tedarikçi seçimi, yer seçimi ve performans değerlendirme gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak karşılaştırmalarında gerçek sayılar kullanması sebebiyle, karar vericilerin değerlendirmelerini sınırlandırmaktadır. Özellikle nitel kriterlerin değerlendirilmesinde karar vericiler önemli zorluklar yaşamaktadır. Bu bağlamda bulanık kümeler teorisi, AHP'nin bu eksikliklerini gidermek için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu nedenle birçok araştırmacı bulanık kümeler teorisini AHP ile birleştirerek farklı problemlerin çözümünde bu yöntemlerden yararlanmıştır.

Bulanık AHP, Analitik Hiyerarşi Süreci ile bulanık kümeler teorisinin birleşimini ifade eden bir metodolojidir. Bulanık AHP'ye ilişkin ilk adımlar Van Laarhoven ve Pedrycz'in 1983 yılında üçgen bulanık sayıları kullanarak gerçekleştirdikleri çalışma ile atılmış olup Chang'ın 1992 yılında üçgen bulanık sayılara dayalı olarak önerdiği model ile Bulanık AHP yaygın bir şekilde kullanılır hale gelmiştir (Rostamy vd., 2012). Bu çalışmada da değerlendirmeler Chang tarafından geliştirilen yaklaşım esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu değerlendirmelerde kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayı karşılıkları Tablo 2'de sunulmuştur.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Tablo 2. Karşılaştırmalara İlişkin Dilsel İfadeler ve Bulanık Sayı Değerleri

Dilsel İfadeler	Bulanık Sayılar
Eşit derecede önemli	(1, 1, 1)
Biraz daha önemli	(2/3, 1, 3/2)
Kuvvetli derecede önemli	(3/2, 2, 5/2)
Çok kuvvetli derecede önemli	(5/2, 3, 7/2)
Tamamıyla önemli	(7/2, 4, 9/2)

Benimsenen yaklaşım doğrultusunda ilk olarak her bir katılımcıdan kriter çiftlerine ilişkin değerlendirmeler dilsel ifadeler aracılığıyla toplanmıştır. Bu dilsel ifadeler belirlenen ölçek doğrultusunda üçgen bulanık sayılara dönüştürülerek her bir katılımcı için ayrı bulanık ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulmuştur. Ardından bireysel değerlendirmeleri temsil eden bu matrisler birleştirilerek grup görüşünü yansıtan uzlaşık bulanık karar matrisi elde edilmiştir. Son aşamada ise gerçekleştirilen durulaştırma işlemi ile kriterlerin nihai ağırlıkları belirlenmiştir.

4. BULGULAR

Bu bölümde havacılık operasyonlarında insan faktörü kapsamında ele alınan psikolojik etmenlere ilişkin uzman değerlendirmelerine yer verilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak uzmanların kriter çiftlerine yönelik dilsel değerlendirmeleri üçgensel bulanık sayılar kullanılarak nicel hale getirilmiştir. Söz konusu işlem sonucunda Tablo 3'te yer alan veri seti elde edilmiştir.

Tablo 3. Uzman Değerlendirmeleri

		C1			C2			C3			C4			C5		
Uzm1	C1	1.00	1.00	1.00	0,40	0,20	0,67	0,40	0,20	0,67	0,29	0,14	0,40	0,29	0,14	0,40
	C2	1,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50	0,40	0,20	0,67
	C3	1,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C4	2,50	7,00	3,50	0,40	0,20	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,40	0,20	0,67
	C5	2,50	7,00	3,50	1,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00
		C1			C2			C3			C4			C5		
Uzm2	C1	1.00	1.00	1.00	1,00	1,00	1,00	2,50	7,00	3,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,50	7,00	3,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C3	0,29	0,14	0,40	0,29	0,14	0,40	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
		C1			C2			C3			C4			C5		
Uzm3	C1	1.00	1.00	1.00	0,67	3,00	1,50	0,40	0,20	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	C2	0,67	0,33	1,50	1,00	1,00	1,00	0,67	0,33	1,50	0,40	0,20	0,67	0,40	0,20	0,67
	C3	1,50	5,00	2,50	0,67	3,00	1,50	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50	0,67	0,33	1,50
	C4	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50	0,40	0,20	0,67	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50
	C5	1,00	1,00	1,00	1,50	5,00	2,50	0,67	3,00	1,50	0,40	0,20	0,67	1,00	1,00	1,00
		C1			C2			C3			C4			C5		
Uzm4	C1	1.00	1.00	1.00	0,29	0,14	0,40	1,00	1,00	1,00	0,29	0,14	0,40	0,22	0,11	0,29
	C2	2,50	7,00	3,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,29	0,14	0,40	0,29	0,14	0,40
	C3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,22	0,11	0,29	0,29	0,14	0,40
	C4	2,50	7,00	3,50	2,50	7,00	3,50	3,50	9,00	4,50	1,00	1,00	1,00	2,50	7,00	3,50

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

	C5	3,50	9,00	4,50	2,50	7,00	3,50	2,50	7,00	3,50	0,29	0,14	0,40	1,00	1,00	1,00
		C1			**C2**			**C3**			**C4**			**C5**		
Uzm5	C1	1.00	1.00	1.00	1,00	1,00	1,00	0,29	0,14	0,40	0,22	0,11	0,29	0,22	0,11	0,29
	C2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	C1	0,40	0,20	0,67	0,29	0,14	0,40	0,22	0,11	0,29
	C3	2,50	7,00	3,50	1,50	5,00	2,50	1,00	1,00	1,00	2,50	7,00	3,50	0,29	0,14	0,40
	C4	3,50	9,00	4,50	2,50	7,00	3,50	0,29	0,14	0,40	1,00	1,00	1,00	0,29	0,14	0,40
	C5	3,50	9,00	4,50	3,50	9,00	4,50	2,50	7,00	3,50	2,50	7,00	3,50	1,00	1,00	1,00

Uzmanlara ait bireysel bulanık ikili karşılaştırma matrisleri grup kararını temsil etmek üzere geometrik ortama ile birleştirilmiştir. Böylece uzman grubun ortak görüşünü temsilen uzlaşık karar matrisi elde edilmiştir. Söz konusu matris, Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Uzlaşık Karar Matrisi

	C1			**C2**			**C3**			**C4**			**C5**		
C1	1.00	1.00	1.00	0,60	0,61	0,83	0,65	0,53	0,91	0,45	0,30	0,54	0,43	0,28	0,50
C2	1,20	1,63	1,67	1,00	1,00	1,00	0,92	0,86	1,28	0,55	0,46	0,77	0,40	0,23	0,55
C3	1,10	1,90	1,54	0,78	1,16	1,08	1,00	1,00	1,00	0,96	1,31	1,20	0,56	0,37	0,75
C4	1,85	3,38	2,23	1,30	2,18	1,83	0,83	0,76	1,04	1,00	1,00	1,00	0,84	1,00	1,18
C5	1,98	3,55	2,34	1,81	4,36	2,50	1,33	2,71	1,79	0,84	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Çalışmanın bir sonraki aşamasında uzlaşık bulanık karar matrisi temel alınarak araştırmaya konu olan faktörlerin göreli önem düzeyleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen değerler, Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5. Faktörlerin Önem Düzeyleri

Faktörler	Önem Düzeyleri
C_1	0,097
C_2	0,139
C_3	0,175
C_4	0,247
C_5	0,342

Tablo 5'te sunulan sonuçlar incelendiğinde psikolojik etmenler arasında en yüksek göreli öneme sahip faktörün karar verme becerisi (C5) olduğu görülmektedir. Bunu sırasıyla algılama yeteneği (C4), yorgunluk (C3), durum değerlendirme yeteneği (C2) ve yeterlilik algısı (C1) izlemektedir. Bu bulgular, havacılık operasyonlarında insan faktörü kapsamında karar verme ve algılama süreçlerinin uzmanlar tarafından diğer psikolojik etmenlere kıyasla daha kritik ve belirleyici olarak değerlendirildiğini göstermektedir.

5.SONUÇ

Bu çalışmada havacılık operasyonlarında insan faktörü çerçevesinde ele alınan psikolojik etmenlerin görece önem düzeyleri bulanık AHP yaklaşımıyla belirlenmiştir. Elde edilen bulgular karar verme becerisinin en yüksek ağırlığa sahip boyut olarak öne çıktığını, bunu algılama yeteneği ve yorgunluğun izlediğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte diğer boyutların daha düşük ağırlıklarda konumlanması, havacılıkta psikolojik kırılganlığı ve operasyonel güvenilirliği belirleyen hassas noktanın daha çok bilişsel yükün yönetimi, durumsal bilgiyi doğru okuma ve zihinsel sürekliliğin korunması ekseninde toplandığına işaret etmektedir. Başka bir ifadeyle bu sıralama, havacılık işleyişinin yalnızca doğru prosedürü bilme

meselesi olmadığını, kritik anlarda bilgiyi seçme, anlamlandırma ve tutarlı tepki üretme kapasitesinin belirleyici bir role sahip olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede insan faktörüne yönelik iyileştirme çabalarının genel psikolojik iyi oluşu desteklemenin ötesine geçerek bilişsel süreçlerin güvenilirliğini artıracak alanlara odaklanması gerektiğini düşündürmektedir. Özellikle eğitim ve yeniden yeterlilik uygulamalarında senaryo temelli karar verme pratiklerinin güçlendirilmesi, durumsal farkındalığı destekleyen geri bildirim mekanizmalarının sistematik hale getirilmesi ve yorgunluk kaynaklı bilişsel zayıflamayı azaltmaya dönük izleme ve planlama uygulamalarının kurumsal düzeyde ele alınması önerilmektedir. Bununla birlikte çalışma sınırlı sayıda uzman değerlendirmesine dayandığı için bulguların genellenmesinde temkinli olunmalı, izleyen araştırmalarda uzman havuzunun genişletilmesi ve farklı görev gruplarının ayrı ayrı değerlendirilmesiyle öncelik yapısının bağlamlara göre değişip değişmediği sınanmalıdır.

KAYNAKLAR

Asarlı, Z. (2012). Okullarda çalışan psikolojik danışmanların okul psikolojik danışmanı öz-yeterlik düzeylerinin incelenmesi. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.

Başdemir, M. (2020). Uçuş operasyonlarında insan faktörünün rolü ve pilot performansını arttıracak öneriler. *Journal of Aviation, 4*(2), 55-70.

Benard, B. (1991). Protective factors in the family, school, and community. *Portland, OR: Western Center for Drug-Free Schools and Communities*.

Caldwell, J. A. (2005). Fatigue in aviation. *Travel Medicine and Infectious Disease, 3*(2), 85-96.

Chang, D. Y. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research, 95*(3), 649-655.

Çapan, B., & Aydın, İ. (2021). İşe bağlı stres ve bireysel güçlü yönlerin psikolojik iyi oluş üzerine etkileri. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Yönetim Bilimleri Dergisi, 19*(42), 949-968.

Çelikkol, M. (2017). Askeri Havacılık olay ve kazalarında insan faktörünün yorgunluk yönüyle değerlendirilmesi. Kara Kuvvetleri Komutanlığı, 73-87.

Dağdeviren, M., Akay, D., & Kurt, M. (2004). İş değerlendirme sürecinde analitik hiyerarşi prosesi ve uygulaması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19*(2), 89-95.

Erkutlu, H., & Soyumert, N. (2020). Örgütsel politika algısı ve örgütsel sessizlik arasındaki ilişkide psikolojik dayanıklılığın düzenleyici rolü. *Journal of Organizational Psychology and Behavior, 1*(1), 1-14.

Güner, Y. A. (2006). Lise son sınıf öğrencilerinin karar stratejilerini yordayan bazı değişkenler. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kanbur, E. (2018). Havacılık sektöründe psikolojik güçlendirme, iş performansı ve işten ayrılma niyeti arasındaki ilişkilerin incelenmesi. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi, 14*(1), 147-162.

Karakuş, Ö. (2006). Hava aracı kaza ve kırımlarında insan faktörünün araştırılması. Yayımlanmamış doktora tezi, Ankara Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kaynak, Ö. M., & Yaslıdağ, B. (2023). Sivil havacılık işletmeleri bağlamında uçuş emniyetiyle ilgili teknik olmayan insani faktörler ve rasyonel karar verme ilişkisi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi, 12*(1), 73-96.

Koonce, J. M. (2002). *Human factors in the training of pilots*. CRC Press.

Özarslan, M. Z. (2014). Kitleleri harekete geçirme aracı olarak sosyal algı yönetimi. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Richardson, G. E. (2002). The metatheory of resilience and resiliency. *Journal of Clinical Psychology, 58*(3), 307-321.

Rostamy, A. A. A., Shaverdi, M., Amiri, B., & Takanlou, F. B. (2012). Using fuzzy analytical hierarchy process to evaluate main dimensions of business process reengineering. *Journal of Applied Operational Research, 4*(2), 69-77.

Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management science, 32*(7), 841-855.

Tamer, Ş. (2021). Havacılıkta insan faktörünün uçak kazalarına etkisinin incelenmesi: Tenerife uçak kazası örneği. Yayımlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım, F., & İlhan, İ. Ö. (2010). Genel öz yeterlilik ölçeği Türkçe formunun geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Türk Psikiyatri Dergisi, 21*(4), 301-308.

Yüksel, M., Demirtaş, Ö., Kurt, M., & Akay, D. (2006). Havacılık kazalarında insan faktörü. *Savunma Bilimleri Dergisi, 5*(1), 73-85.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Behavioral Safety in Occupational Health and Safety: A Theoretical Analysis

Dr. Cihan Serhat KART[1] **Dr. Evin MİSER**[2]

Abstract

The historical evolution of the discipline of Occupational Health and Safety (OHS) has undergone an inevitable transformation from traditional approaches focused on engineering controls and compliance with legal regulations toward behavioral paradigms that place the human factor at the center. The fact that statistical evidence reveals that a striking proportion of occupational accidents—ranging from 80% to 95%—originate from unsafe behaviors rather than technical deficiencies compels organizations to move beyond merely "managing what is visible" and to address the root causes of behavior. This study aims to analyze the Behavior-Based Safety (BBS) approach, which goes beyond reactive preventive measures in accident prevention, from a holistic perspective grounded in theoretical models and cultural dynamics.

The theoretical foundation of the analysis is built upon Cooper's Reciprocal Safety Culture Model, which is informed by Bandura's Social Cognitive Theory and conceptualizes safety as a dynamic interaction among the Individual (psychological), Behavior (behavioral), and Organization (situational). Within this framework, the study discusses—consistent with Geller's principles of a "Total Safety Culture"—the necessity for safety to evolve from being the responsibility of a single unit into a value internalized by all members of the organization. By examining the ABC (Antecedent–Behavior–Consequence) analysis, which constitutes the methodological core of behavioral interventions, the study emphasizes the critical role of positive reinforcement and feedback mechanisms—rather than punitive approaches—in enabling employees to internalize safe behavior.

The study further argues that the sustainability of behavioral safety can only be achieved through the establishment of an environment characterized by "Psychological Safety" and a "Just Culture." A climate in which employees can report errors and risks without fear of losing their status, when supported by transformational leadership practices, facilitates the emergence of "OHS-Oriented Organizational Citizenship Behavior" (OCB), a voluntary form of contribution. Ultimately, this theoretical analysis demonstrates that transforming behavioral safety from a matter of legal compliance into a culture of commitment—where employees take initiative for their own safety and that of their colleagues—is possible only through the synchronization of technical, psychological, and managerial factors.

Keywords: Behavior-Based Safety (BBS), Safety Culture Models, Reciprocal Determinism, Organizational Citizenship Behavior, Psychological Safety.

1 Assistant Profesor Ankara University Ayaş Vocational School orcid Id: 0000-0003-1941-349X mail: serhatcika@gmail.com

2 Lecturer Ankara University, Ayaş Vocational School orcid: 0000-0002-7855-4703 mail:evinmiser@gmail.com,

Behavioral Safety in Occupational Health and Safety: A Theoretical Analysis

Dr. Cihan Serhat KART[1] **Dr. Evin MİSER**[2]

Abstract

The historical evolution of the discipline of Occupational Health and Safety (OHS) has undergone an inevitable transformation from traditional approaches focused on engineering controls and compliance with legal regulations toward behavioral paradigms that place the human factor at the center. The fact that statistical evidence reveals that a striking proportion of occupational accidents—ranging from 80% to 95%—originate from unsafe behaviors rather than technical deficiencies compels organizations to move beyond merely "managing what is visible" and to address the root causes of behavior. This study aims to analyze the Behavior-Based Safety (BBS) approach, which goes beyond reactive preventive measures in accident prevention, from a holistic perspective grounded in theoretical models and cultural dynamics.

The theoretical foundation of the analysis is built upon Cooper's Reciprocal Safety Culture Model, which is informed by Bandura's Social Cognitive Theory and conceptualizes safety as a dynamic interaction among the Individual (psychological), Behavior (behavioral), and Organization (situational). Within this framework, the study discusses—consistent with Geller's principles of a "Total Safety Culture"—the necessity for safety to evolve from being the responsibility of a single unit into a value internalized by all members of the organization. By examining the ABC (Antecedent–Behavior–Consequence) analysis, which constitutes the methodological core of behavioral interventions, the study emphasizes the critical role of positive reinforcement and feedback mechanisms—rather than punitive approaches—in enabling employees to internalize safe behavior.

The study further argues that the sustainability of behavioral safety can only be achieved through the establishment of an environment characterized by "Psychological Safety" and a "Just Culture." A climate in which employees can report errors and risks without fear of losing their status, when supported by transformational leadership practices, facilitates the emergence of "OHS-Oriented Organizational Citizenship Behavior" (OCB), a voluntary form of contribution. Ultimately, this theoretical analysis demonstrates that transforming behavioral safety from a matter of legal compliance into a culture of commitment—where employees take initiative for their own safety and that of their colleagues—is possible only through the synchronization of technical, psychological, and managerial factors.

Keywords: Behavior-Based Safety (BBS), Safety Culture Models, Reciprocal Determinism, Organizational Citizenship Behavior, Psychological Safety.

1 Assistant Profesor Ankara University Ayaş Vocational School orcid Id: 0000-0003-1941-349X mail: serhatcika@gmail.com

2 Lecturer Ankara University, Ayaş Vocational School orcid: 0000-0002-7855-4703 mail:evinmiser@gmail.com,

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

YERALTI MADEN İŞ MAKİNASI OPERATÖRLERİNİN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNİN ARTTIRILMASI

İBRAHİM KONUK

Dr. Öğr. Üyesi, T.C Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş sağlığı ve Güvenliği Bölümü, ikonuk2012@hotmail.com- ORCID No: 000-0003-4082-2570

ÖZET

Madencilik sektörü ekonomik büyümeyi yönlendirmede önemli bir rol oynamasına rağmen, yüksek yaralanma oranları nedeniyle en tehlikeli çalışma ortamlarından biri olarak da bilinmektedir. Madencilik sektöründeki şirketler, işçi güvenliğini, sağlığını ve genel refahını artırmanın yanı sıra, üretkenliği artırmak, ürün ve hizmet kalitesini yükseltmek, iş motivasyonunu artırmak, çalışan memnuniyetini yükseltmek ve sonucunda bireylerin ve toplumun yaşam kalitesini artırmak için iş sağlığı ve güvenliği (İSG) önlemlerini uygulama zorluğuyla karşı karşıyadır. Madencilik çalışmaları da ayrıca çevre kirliliğin başlıca kaynaklarından biri olmaya devam etmektedir.

Maden ocaklarındaki makinelerde meydana gelen kazaların/olayların önlenmesi ve madencilik makinelerinde operatör güvenliği konuları, büyük ölçüde iş yerinin ergonomik olarak uyarlanmasına, güvenlik prosedürlerine ve politikalarına uyulmasına ve kurumsal ve diğer etkili faktörlere bağlıdır. Mevcut literatürde bu faktörlerin yeterince ele alınmaması, şimdiye kadar tatmin edici sonuçlar vermemiştir. Bu makalenin amacı, öncelikle, olayların/kazaların meydana gelmesinde etkili olan maden makinalarını kullanan operatörlerin çalışmaları esnasında güvenliğini araştırmak ve temelde çözüm tasarlamaktır. Bu araştırmada, Artvin'de bulunan bir yeraltı ocağında iş makinaları operatörleri arasında yapılan anketler, konuyla ilgili yayınlar ve T.C Artvin Çoruh Üniversitesi kütüphanesinde bulunan online veri tabanlarından yararlanılmıştır. Bu sayede toplanan kapsamlı verilere dayanarak, bir model oluşturulmuş ve bu model, madencilik makinelerinin işletim risklerini azaltmak için, sistemde akıl yürütme mantığını tasarlamak için kullanılmıştır. Endüstriyel sistemler karmaşık sosyo-teknik sistemlerdir, bu nedenle operatör-makine etkileşiminin endüstriyel güvenliği nasıl etkilediğini araştırmaktır. Bu çalışmanın diğer âmâ cıda, madencilik iş yerlerinde kazaların ve/veya olayların önlenmesinde ve çalışma koşullarının kalitesinin iyileştirilmesinde etkisi olan bağlamsal faktörlerin (ergonomik faktörler dâhil) karşılıklı bağımlılığının modelini kurmak ve denetlemektir. Belirlenen hedefe, madencilik makinelerinin işletim risklerini azaltmak için bir karar destek sistemi şeklinde entegre, analitik ve programatik bir çözümün sunulmasıyla ulaşılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Operatör, Madencilik, Makine, Güvenlik, Yeraltı

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE ENHANCEMET OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY OF UNDERGROUND MINING MACHINERIES OPERATORS

ABSTRACT

Although the mining sector plays a significant role in driving economic growth, it is also known as one of the most dangerous working environments due to high injury rates. Companies in the mining sector face the challenge of implementing occupational health and safety (OHS) measures to improve worker safety, health, and overall well-being, as well as to increase productivity, enhance product and service quality, boost work motivation, increase employee satisfaction, and ultimately improve the quality of life for individuals and society. Mining operations also remain a major source of environmental pollution.

Preventing accidents/incidents in mining machinery and ensuring operator safety in mining machinery largely depends on the ergonomic adaptation of the workplace, adherence to safety procedures and policies, and institutional and other influencing factors. The insufficient address of these factors in the current literature has not yielded satisfactory results to date. The aim of this article is primarily to investigate the safety of operators using mining machinery during their work, which is a contributing factor to accidents/incidents, and to fundamentally design solutions. This research utilized questionnaires conducted among mining machinery operators in an underground mine located in Artvin, relevant publications, and online databases from the Artvin Çoruh University library. Based on the comprehensive data collected, a model was created and used to design the reasoning logic in the system to reduce the operational risks of mining machinery. Industrial systems are complex socio-technical systems; therefore, the aim is to investigate how operator-machine interaction affects industrial safety. Another objective of this study is to establish and monitor the interdependence of contextual factors (including ergonomic factors) that have an impact on preventing accidents and/or incidents and improving the quality of working conditions in mining workplaces. The stated objective will be achieved by presenting an integrated, analytical, and programmatic solution in the form of a decision support system to reduce the operational risks of mining machinery.

Keywords: Operator, Mining, Machinery, Safety, Underground

Giriş

Maden makineleri çoğunlukla çok karmaşık çalışma koşullarında, dinamik bir yapıda ve çok sayıda risk kaynağının aynı anda bir araya gelmesiyle çalışır ve bunun mantıksal sonucu olarak yüksek oranda iş kazası ve ölüm meydana gelir. Maden makinelerinin çalıştırılmasından kaynaklanan kazalar, madencilik sektöründeki tüm ölümlerin %47'sini oluşturmaktadır (Kumar ve Srivasta., 2017). Madencilik sektöründeki ölüm sayısında sürekli bir düşüş yaşansa da, madencilikte 100.000 işçi başına ölümcül yaralanma oranı 16,7' dir; bu oran, tüm sektörler için ortalama olan 4,1 oranının dört katından fazladır (Groves vd., 2007). Ayrıca, günümüzde

uluslararası pazarda madencilik makinelerine olan talep, yıllık %4'lük bir büyüme oranıyla artmaktadır (Sanchez ve Hartlieb, 2020). Ayrıca, 2030 yılına kadar AB stratejisine uygun olarak, iş kazalarının azaltılması açısından endüstriyel güvenlik performansının (baz yıla göre) kademeli olarak %25 oranında iyileştirilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, maden ocaklarında madencilik makinelerinin işletimi sırasında meydana gelen kazalar ve/veya olaylar hala nispeten sık görülen, planlanmamış ve istenmeyen olaylardır Madencilik sektöründe ergonomik ve/veya bağlamsal faktörleri dikkate alan araştırmalar son derece nadirdir (Dodoo vd., 2023). Madencilik faaliyetlerinde olayların ve kazaların uygun şekilde kaydedilmesi ve raporlanmasında eksiklik bulunmaktadır (Ajith vd., 2021; Yang vd., 2022). Bu nedenle, bazı başarılara rağmen, madencilik sektörü hâlâ yüksek bir kaza oranına sahiptir ve küresel olarak en riskli işlerden biri olarak kabul edilmektedir (Haas ve Yorio, 2021; Marimuthu vd., 2023). İstatistiklerdeki bu farklılık, genel yaralanmalardaki azalmaların ölümlerdeki azalmalarla orantılı olmadığı madencilikteki zorlukların karmaşıklığını göstermektedir. Ölümcül olmayan yaralanma oranı azalsa da, ölümcül yaralanma oranı daha yavaş bir hızda azalmaktadır ve bu da mevcut güvenlik önlemlerinin izlenmesi ve iyileştirilmesi ihtiyacını göstermektedir. Literatüre göre, madencilik makinelerinin işletimi sırasında kaza ve/veya olayların meydana gelmesine katkıda bulunan en yaygın faktörler şunlardır (Aliabadi vd., 2020). İnsan faktörü (insan hatası), Çevresel faktörler (doğal kuvvetlerin etkisi, acil durumlar, fırtınalar, depremler) ve organizasyonel faktörler, çoğunlukla uygulanan bakım prosedürlerine bağlı olan, madencilik makinesinden kaynaklanan faktörler. Madencilik makinelerini ilgilendiren tüm olumsuz olayların %80'inden fazlası insan hatasından kaynaklanmaktadır Yani, çalışanların maden makinelerini çalıştırırken sergilediği çeşitli bilinçli veya bilinçsiz davranışlar ve insan ile organizasyonel faktörler arasındaki bağlantı göz önüne alındığında, insan faktörü en önemli ve en karmaşık nedendir (Duarte vd., 2021). Nadir görülen önceki araştırmalara göre madencilik makinelerinde insan faktörünün neden olduğu olumsuz olayların bazı nedenleri arasında, sürücünün fiziksel durumu, aracın aşırı yüklenmesi, kör noktalar, agresif sürüş, güvenlik prosedürlerine uyulmaması, diğer araçlardan yetersiz mesafe, yorgunluk, stres, kapalı bir alanda çalışmaktan kaynaklanan zihinsel çaba, yeraltı boşluğu, toz, çeşitli gazlar, kirli hava, görüş mesafesi yer almaktadır. Maden makineleri operatörünün işyerinin ergonomik düzenlemesinin analizine odaklanan bazı çalışmalar, araştırmanın güncelliğine işaret etmekle birlikte, ergonomik adaptasyonun yeterince araştırılmamış faktörlerine de işaret etmektedir (Komlijenovic vd., 2017). Bunun yanı sıra, İnsan faktörünün ve ergonominin madencilik uygulamalarında risk azaltıcına nasıl katkıda bulunduğunu ortaya konulmuştur (Horberry vd., 2016). Ayrıca akıllı teknolojilerin ergonomik çözümlerin uygulanmasıyla birlikte uygulanmasının avantajının, madencilikte risk azaltma alanında yakın gelecekte önemli ilerlemeler kaydedilmesini sağladığı savunulmuştur (Dempsey vd., 2018). Ayrıca, çalışma esnasında, iş yerinde güvenliği ve sağlığı artırmak amacıyla madencilik sektöründe güvenlik iklimi ve ergonomik ayarlamaların ölçümü ve araştırılmasına yönelik önerilere atıfta bulunulmuş, aynı zamanda verimlilik ve üretkenlikte eş zamanlı bir artışa ihtiyaç olduğunu belirtilmiştir (Haas vd., 2021). Açıkça görüldüğü üzere, önceki araştırmalar çoğunlukla bireysel veya muhtemelen dar bir bağlamsal ve ergonomik faktörü ele almıştır Ancak, şu anda akademik yayınlarda mevcut olan literatür, konu hakkında çok az araştırma yapıldığını ve bu olgunun teknik standartlar ve normlar üzerinde çok az etkisi olduğunu göstermektedir (Spasojevic ve Mihajlovic, 2023). Ancak, zorluklara ve karmaşıklığa rağmen, yürürlükte olan

yönetmelik kriterlerinin ancak endüstriyel makine ve ekipman kullanıcılarının ihtiyaçları dikkate alındığında tatmin edici sonuçlar sağlayacağı kabul edilmektedir. Bu nedenle, madencilik makinelerine odaklanarak, önemli operatör-makine etkileşim faktörlerinin endüstriyel güvenlik üzerindeki etkisinin nicel olarak belirlenmesi için bir metodolojinin belirlenmesi ve oluşturulması, bu endüstriyel sektör için birincil öneme sahiptir.
Madencilik makinelerinin operatörler açısından, işletim risklerini azaltmayı amaçlayan bir karar destek sisteminde, aşağıdaki konularda iyileştirmelerin verimli bir şekilde uygulanmasını amaçlamaktadır. Bunlar İşi sağlığı ve güvenliği seviyesinin artırılması, verimlilik seviyesinin artırılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesidir. Sonuç olarak, çalışanlar, özellikle de maden makinesi operatörleri, çevresel ve psikososyal stres faktörleri de dahil olmak üzere yüksek mesleki sağlık riskleriyle karşı karşıyadır ve üretkenliklerini, rekabet güçlerini ve genel performanslarını ciddi şekilde etkileyebilecek yüksek kaza ve meslek hastalığı oranlarının farkındadırlar. (Baraza vd., 2023; Zhang vd ., 2024). Mesleki yaralanmalar, genellikle ciddi sonuçlara yol açtıkları için çalışma ortamında oldukça istenmeyen olaylardır. İstenmeyen olaylara doğrudan karışan kişiler, özellikle de savunmasız operatörler, ilk müdahale edilmesi gereken kişilerdir. Bunu, iş sağlığı ve güvenliğinden sorumlu kişiler, doğrudan amirler, maden sahipleri ve maden makinesi operatörleri gibi diğer maden işçileri takip eder (Sargeant ve Giovannone, 2011). Ayrıca, maden kazalarının yerel topluluklar, çevre ve ekonomi üzerinde olumsuz etkileri olabilir (Ismail vd., 2021).

1. LİTERATÜR TARAMASI

Madencilik gibi endüstriler, sürekli operasyonlar gerçekleştirmek için genellikle ağır makine ve ekipmanlar kullanır ve bu da operatörlerin vardiyalı çalışmasını gerektirir. Bu da genellikle makine operatörlerinin yorgunluğuna ve dolayısıyla işleri için yüksek riske yol açar (Talebi vd., 2021; Stemn ve Benyarku, 2023). Ayrıca, madencilik makinelerinde operatör yorgunluğunun işyerindeki sağlık ve güvenlik üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabileceğini ve bunun da iş motivasyonu ve memnuniyetinde düşüşe yol açabileceğini belirten çok sayıda yazar (Cavouto ve Megahed, 2016; Pelders ve Nelson, 2019; Talebi vd., 2021) bulunmaktadır. Bu durum, iş kalitesinde, üretkenlikte ve performansta düşüşe neden olur. Madencilik makinelerinde operatör yorgunluğunun etkileri, işyerindeki sağlık ve güvenlik üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilir, dolayısıyla iş motivasyonunda ve iş tatmininde azalmaya yol açabilir; bu da iş kalitesinde, verimlilikte ve performansta düşüşe neden olur. Özellikle yeraltında, yüksek sıcaklık, nem, toz, yüksek ses, loş ışık, sınırlı görme keskinliği ve uzun yeraltı mesafeleri gibi zorlu çalışma ortamı koşulları, uygunsuz koşulların işyeri stresini ve güvensizliğini artırması nedeniyle operatörlerin güvenlik koşullarından duydukları memnuniyeti olumsuz etkileyebilir (Drews vd., 2020; Onifade vd., 2023). İnsan sağlığını etkileyen en önemli işyeri stres faktörlerinin fiziksel, ergonomik, psikososyal ve kimyasal çevre koşullarıyla ilişkili olduğu doğrulanmıştır. Uygun iş ekipmanı, makine ve kişisel koruyucu ekipmanların düzenli olarak denetlenmesi, maden işletmecilerinin günlük üretim hedeflerine ulaşma memnuniyetlerini önemli ölçüde etkileyebilir (Tufano, 1996). Aksi takdirde, yetersiz iş ekipmanı ve operatörleri rahatsız eden rahatsız edici kişisel koruma, operatör yorgunluğuna yol açabilir ve güvenlik memnuniyetlerini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, potansiyel olarak sağlık ve güvenlik sorunlarına ve makineler gibi pahalı maden ekipmanlarının hasar görmesine veya kaybolmasına neden olabilir (Wegerich vd., 2009). Maden güvenliği tehlikelerinin

operatörler ve makineler üzerinde olumsuz etkileri vardır, maden üretim sistemlerini kesintiye uğratır ve madencilik operasyonlarının sürdürülebilirliğini olumsuz etkiler (Gul ve Ak, 2018; Guo ve Yang, 2023; Salami vd., 2023). Literatür taramasına dayanarak aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur: İş ekipmanı ve çevresel faktörler, operatörlerin işyerlerindeki güvenlik memnuniyetini olumlu yönde etkiler.

İşyerlerinde mevcut güvenlik durumuna katkıda bulunabilecek diğer faktörler arasında insan davranışı ve örgütsel iklim faktörleri de yer almaktadır. Bazı araştırmalara göre, çalışanların bireysel özellikleri güvenlik uygulamalarının uygulanma düzeyini etkilemektedir (Tetemke vd., 2014). Çalışanlar arasındaki güvenlik davranışı, kişisel deneyimlerine, motivasyonlarına, bilgilerine veya duygusal tepkilerine bağlı olarak esas olarak risk algısına dayanır (Xia vd., 2017). İnsan davranışı faktörleri, iş güvenliği bilgisi, çalışan güvenliği motivasyonu ve iş güvenliği kurallarının kabulü gibi çeşitli özel boyutları içerir. Daha yüksek güvenlik bilgisine ve güvenlik prosedürlerine uyma konusunda daha fazla motivasyona sahip operatörlerin iş yerinde güvenli davranışlar sergileme olasılığı daha yüksektir. Ayrıca, kurallara ve prosedürlere karşı bilinçli ve istekli bir tutumu da içeren güvenlik kurallarının kabulü, göçük ve yaralanmaların azaltılmasını doğrudan etkiler (Reason vd., 1998).

2. MATERYAL VE METOT

Maden makineleri risk azaltma karar destek sisteminin tasarım metodolojisi, ergonomi ve bağlamsal teoriye dayanmaktadır. Daha önce sunulan metodolojik adımlara uygun olarak, aşağıdaki adımları içerir: Yapılandırılmış anketlerin oluşturulması, Anket süreçlerini desteklemek için yazılım kullanımını, veri depolamayı ve anketlere dayalı işlemeyi de içeren veri toplama, yapısal denklemlerle modelleme, maden makinelerinin çalıştırma riskini azaltmak için bağlamsal uyarlanabilir bir karar destek sisteminin geliştirilmesi ve karar destek sisteminin test edilmesi ve uygulanması. Maden makinelerinin işletim riskini azaltmak için bir karar destek sistemi geliştirmenin ilk adımı, madencilik makinelerinin işletimi ve bakımı için risk değerlendirmesi açısından önemli olan ergonomik ve bağlamsal faktörlerin teorik ve metodolojik bir çerçevesini oluşturmaktır. Bu, öncelikle veri toplama amacıyla bir ölçüm aracının geliştirilmesini gerektiriyordu. Bu amaçla, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) ile ilgili bir dizi terim ve kavrama odaklanarak bir literatür taraması gerçekleştirdik. Özellikle, teknik, insan, örgütsel ve sürdürülebilirlik faktörleri gibi belirli faktörler hakkındaki literatür, yalnızca madencilik şirketlerinde işyeri güvenliği ikliminin değerlendirilmesi için ölçülecek faktörleri belirlemek amacıyla kullanıldı.

Geliştirilen ölçüm aracı, tüm teknik, beşeri ve organizasyonel faktörlerin ve sürdürülebilirlikle ilgili faktörlerin öngörücü olarak tanımlanmasını ve ölçülmesini sağlar. Bu nedenle, bağlamsal teoriye dayalı madencilik makineleri risk azaltma için bir karar destek sistemi kurmak için yenilikçi bir temel oluşturur. Literatür taramasında T.C Artvin Çoruh Üniversitesi Kütüphanesi ve internet ortamından yararlanılmıştır.

2.1. ÖRNEKLEME VE VERİ TOPLAMA

Belirlenen ölçüm aracına dayanarak, ergonomiyi, yani çalışma koşullarının durumunu hedefleyen bir anket formu ve iş sağlığı ve güvenliği için önemli olan organizasyonel faktörleri

ele alan, beş seviyeli sözel-sayısal bir ölçek içeren bir anket formu geliştirdik, bu anket formunda, 1. derece, sorulan soruyla ilgili olumsuz bir ifadeyi, 5. derece ise maksimum olumlu dereceyi belirtir. Artvin'de bulunan yeraltı ocağındaki maden makinası operatörlerinden oluşan toplam 84 katılımcı, hazırlamış olduğumuz iş sağlığı ve güvenliği anketlerini doldurdu. Bu anketlerde, maden makinesi kabininin ihtiyaçlarına göre ergonomik olarak ayarlanmasıyla ilgili soruları yanıtlayabilen 48 maden makinesi operatörü vardı. Bu nedenle, bu 48 operatörden çalışma koşullarının durumuyla ilgili anketi doldurmalarını istedik. Maden makinesi operatörlerinin yaş, boy, kilo ve iş deneyimi ile ilgili bilgiler toplandı. Madencilik makinelerinde operatörlere yönelik anket olan Q1, İş sağlığı ve güvenliği durumuyla ilgilidir.. Bu anket formlarında, katılımcılara tüm sorulara cevap verilmesi gerektiği söylenmiştir. Anket Q2 ise, maden makinesi arıza süresi verilerinin toplanması için örnekleme prosedürüdür, yeraltı iş makinaları operatörlerin istihdam edildiği aynı yeraltı ocağında gerçekleştirilmiştir. Araştırma süresince, iş makinasının operatörleri ve yardımcı işçileri(yağcı), duruş süreleri, duruş nedenleri, duruş türleri ve maden makinelerinin cinsiyle ilgili tüm kayıtları elle kâğıda yazdılar. Bu, operatörlerin çalışma koşulları değerlendirmesini, duruş nedenleri ve türlerini birbirine bağlamanın tek yoluydu. Veri tabanlarını oluşturarak, operatörle ile ilgili işyerindeki veri tabanını ve işyerinde meydana gelen makine duruşlarını birbirine bağladık. Kaydedilen maden makinesi duruşlarının bazılarının duruş süresi sıfırdı, ancak daha ileri analizlere dahil edildi. Kaydedilen duruşların bazıları, araştırmalarımızla ilgili olmayan faktörlerden kaynaklandı ve bu nedenle örneklemeden çıkarıldı. Ankete katılan operatörlerin yaşları 20-55, boyları 1.90-1.66 cm, kiloları 60-150 kg ve iş tecrübeleri 1-39 yıl aralığındaydı. Çalışma koşullarına ilişkin anketin temel sonuçları aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Maden makinesi operatörlerinin %61,77'si koltukta bel desteği olmadığını, %15,38'i ise sırt desteğinin olmadığını belirtti. Kol desteği söz konusu olduğunda operatörler şu şekilde yanıt verdi. %28,46'sı kol dayanağı olmadığını belirtti. %72,00'si kol dayanaklarının ayarlana bilirliğinden memnun olmadığını belirtti ve %36,97'side kol dayanaklarının uygun yüksekliğinden memnun olmadığını belirtti. Ayrıca, maden makinesi operatörleri aşağıdakileri olumsuz olarak değerlendirmemiştir. Koltuk, zemin veya kontrollerde titreşim, kolay erişilebilir pedal, kabinin boyutu, kabindeki gürültü, eşikler ve tutamakla, kabine kolay giriş ve çıkış, çalışma alanında görüş ve kabindeki pencere yansımasıdır.

Maden makinesi operatörleri, görüşlerinin, ortamdaki engeller tarafından engellendiğini belirtmiştir (%80,00). Yeraltı madenciliği makine operatörleri, yönetim tarafından motive edilmeleri konusunda olumlu bir görüşe sahip değilken, % 78,46'sı yönetimin kendilerini motive etmediğine veya ödüllendirmediğine inanıyor ve diğer makine operatörlerinin %52,61'i ise arızaların insan veya organizasyonel faktörler dışındaki faktörlerden kaynaklandığına inanıyor. Son olarak, maden ocağı makine operatörleri için çalışma koşullarının kalitesinin düşmesini etkileyen temel faktörler belirlendi. Koltuk dönmüyor - Katılımcıların %77,79'u bu konudan memnun olmadığını belirtti ve kötü çalışma koşulları (hastalık izni) nedeniyle işe devamsızlık sebepler nedeniyle, katılımcıların %73,08'i bu konudan memnuniyetsizlik duyduğunu ifade etti. Ayrıca, anket yapılan yeraltı bakır ocağında çalışan maden makinelerinin çalışma ve duruşlarına ilişkin veriler 6 ay boyunca kaydedildi.
9 tip maden makinesinin (7 adet Atlas Copco MT436-B yeraltı kamyonu, 32 ton kapasiteli, 3 adet Atlas Copco STD310 yeraltı kepçesi kepçe kapasitesi 10 ton, 3 adet sika Putzmeister robot

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

beton enjeksiyon makinası, 4 adet fiori mixer, 2 adet bulon çakma makinası, 2 adet beton enjeksiyon makinası, 2 adet JCB ve 2 adet Atlas Copco Simba katlar arası delici ve 2 adet Atlas Copco Jumbo delicilerin) çalışması izlendi. Her bir duruş/arıza için, duruş/arızanın nedeni ve duruş/arızada geçirilen süre kaydedildi. Araştırma süresince toplam 8464 duruş, kâğıt üzerinde manuel olarak kaydedildi. Kaydedilen veriler, duruş türü, duruş süresi ve duruş nedeninden oluşmaktadır. Tüm bu veriler, makine duruşlarının veri tabanını oluşturmak için kullanılmıştır.
Duruş sayıları: (bazı kesintilerin aynı anda bir veya daha fazla nedeni vardı).
Teknik (mekanik) nedenlerle: 7084
Elektriksel nedenlerle: 604
Yetersiz yönetim (yanlış kullanım): 179
Organizasyondan kaynaklanan duruş: 672

Elde edilen verilere dayanarak, mevcut kaynaklarda, kabinin maden makinesi operatörü için ergonomik uygunluğu, operatörün çalışma koşulları, güvenlik prosedürlerine ve kurallarına uyum ve maden makinelerinde çeşitli arıza türlerinin meydana gelmesi önemli faktörlerdir (her ne kadar arıza sürelerinde insan faktörünün önemli bir rol oynadığı bilinse de). Operatör-makine birlikte çalışabilirliği alanının henüz araştırılmamış olması nedeniyle, madencilik makinelerinde meydana gelen yaralanma ve olumsuz olayların en yüksek yüzdesi insan faktöründen kaynaklanmaktadır ve bu nedenle toplanan veri tabanları bize bir operatör-makine sistemindeki neden-sonuç ilişkilerini inceleme olanağı sunmaktadır. Kabinin operatöre göre ergonomik olarak ayarlanmasıyla ilgili toplanan verilerin analizinde, katılımcıların çoğunluğu (%77.79) koltuktan (dönme kabiliyeti ve kolçakların ayarlanabilir olmaması veya hiç olmaması) memnun olmadığını ifade etmiştir. Ayrıca, ankete katılan operatörlerin önemli bir kısmı (%73,08) kötü çalışma koşulları nedeniyle sık sık işe devamsızlık yaptıklarını belirtmiştir. Bu sonuç, operatör kabinlerinde ergonomik ayarlamaların, istenmeyen maden makinesi duruşlarının önlenmesinde önemli bir faktör olduğunu vurgulamaktadır. İş risklerini azaltmak için önleyici tedbirler listesi basit ve anlaşılır bir şekilde derlemek olası iş kazalarını önleyecektir. Ayrıca iş makinalarında çalışırken, devrilme ve tavan göçükleri ve kayma esnasında operatörleri koruma amacıyla. tavanda çelik çatılar ve yan koruyucu destekler bulunmalıdır.

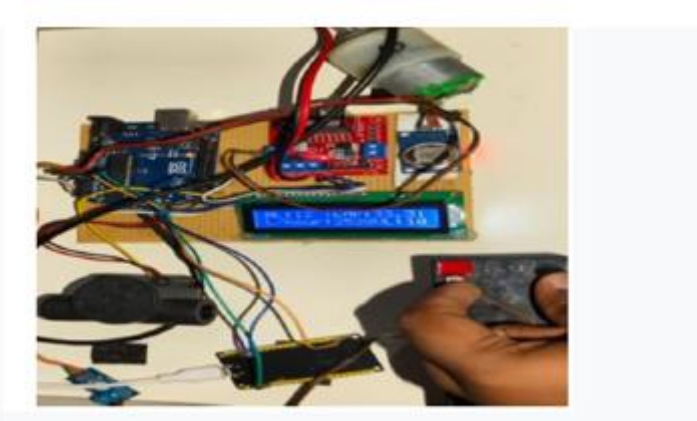
Şekil.1. Koruyucu Yapılı Yeraltı İş Makinaları (Karlinski vd.,2008).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

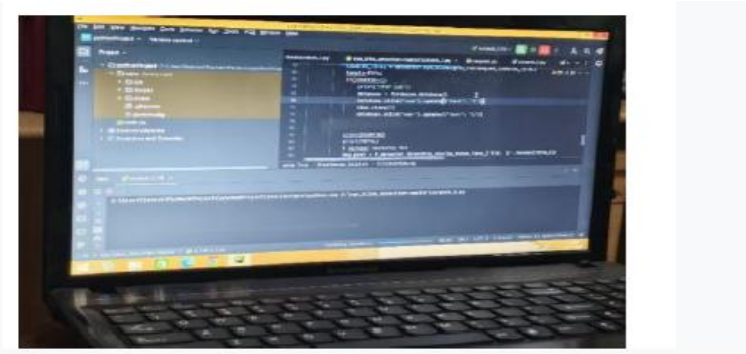
Şekil.2. Yeraltı Tavan Göçmelerine Karşı Makine Koruması (Karlinski vd.,2008).

Telematik Kontrol Ünitesi (TCU) Tüm araçlarda bulunan operasyonel verimliliği ve güvenliği artırmak için tasarlanmış, yerleşik bir cihaz ve hayati bir bileşendir. Sıcaklık ve yakıt tüketimi gibi aracın gerçek zamanlı durumu hakkında bilgi toplamak ve iletmek için sensorlar gibi telematik teknolojileri entegre eder. TCU ile birlikte, maden kazaları hidrojen sülfür metan ve toz patlamaları gibi zehirli gaz sızıntıları dâhil olmak üzere çeşitli nedenlerle meydana gelebileceğinden, yüksek güvenlik sağlayabilecek yeni bir sistem olan Sürücü Yönetim Sistemi (DMS) geliştirilmiştir. Bu sistem, sürücünün araç kullanırken faaliyetlerini izlemesine yardımcı olur. Bu sistem, kömür madenlerinde kullanılan tüm ağır vasıtalara uyarlanabilir. Filo yöneticilerinin ve operatörlerin, optimizasyonlarını iyileştirmek için aracın durumunu tam olarak görebilmelerini sağlar. Genel olarak, bu sistem, diğer cihazlar arasında büyük bir yetkinliğe ulaşmak için öngörücü bakım yetenekleri ve çevre dostu yaklaşımlar kullanır. TCU'nun temel amacı, motor arıza tespiti gibi madencilik operasyonlarını iyileştirmek için kritik verileri gerçek zamanlı olarak toplamak, işlemek ve iletmektir. Bu sistemin temel özellikleri, sisteme entegre sensorlar aracılığıyla motor performansını, ekipman durumunu ve yakıt tüketimini sürekli olarak izlemesidir. Bu veriler, bakım planlaması ve yakıt verimliliğinin optimizasyonu için kritik öneme sahiptir ve sistem, sürücü davranışlarını gözlemleyen ve sürücü yorulduğunda aracı durduran Sürücü Yönetim Sistemi (DMS) ile donatılmıştır. Genel olarak TCU, malzeme düşmesi, yangın ve patlama gibi maden kazalarını önlemek için operatöre anında uyarılar gönderir. Bu kurulum, sensörlerle gerçek zamanlı veri iletebilen güvenli ve sağlam bir veri ağı üzerinden iletişim kurar. Ardından, verileri DMS ve Yetkili Servislere iletir. Bu çeşit proaktif sistemler kullanmak yeraltı iş makinaları operatörlerinin daha güvenli iş ortamlarında çalışmasını sağlayacaktır (Parimitha vd., 2024).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil.3. TCU (Telematik Kontrol Ünitesi) Protipi. (Parimitha vd., 2024).



Şekil.4. DMS (Sürücü Yönetim Sistemi) İşleyişi (Parimitha vd., 2024).

Yeraltı madenciliği makine operatörleri için bir diğer endişe kaynağı da Pnömokonyoz veya Kara Akciğer Hastalığı olarak bilinen tıbbi rahatsızlıktır. Kara Akciğer tedavi edilemez, ancak önlenebilir. Esasen bu hastalığın iki seviyesi vardır:
1, Kömür İşçileri Pnömokonyozu (KÇP)
2. İlerleyici Masif Fibrozis (PMF)

Her iki durumda da akciğer, kömür tozunun sürekli solunması nedeniyle hasar görür. Tozun solunması nedeniyle hava kesecikleri iltihaplanabilir. Bu da doku hasarına ve nefes almada zorluğa yol açar. Her iki Pnömokonyoz türünün en yaygın belirtileri, sürekli öksürük ve nefes darlığıdır. Hastalığın doğru teşhisi, bir sağlık uzmanı tarafından uygulanan göğüs röntgeni veya akciğer fonksiyon testleri ile yapılır. Bazı madenler, tüm çalışanların yararlanması gereken bir program olan ücretsiz göğüs röntgeni sunar; çünkü akciğer hastalığının erken belirtilerini tespit etmek, hastalığın ilerlemesini durdurmada büyük rol oynayabilir. Kara Akciğer hastalığının semptomlarını hafifletmek için tedaviler mevcuttur, ancak bu durum asla tedavi edilemez; akciğerler hasar gördüğünde, etkileri geri döndürülemez.

Önleyici Tedbirler: Kara Akciğer Hastalığına karşı ilk savunma hattı, İş makinası operatörlerinin uygun bir solunum maskesi kullanmasıdır. Maske yüze sıkıca oturmalı, temiz tutulmalı ve işçi madende olduğu her zaman kullanılmalıdır. Hastalığın gelişme olasılığını en aza indirmek için uygulanabilecek ek önlemler de vardır.
Aşağıdakileri göz önünde bulundurun:

Kömür tozu cilde temas ettiğinde, mümkün olan en kısa sürede sabun ve suyla yıkanmalıdır; Kömür tozuyla kaplı iş kıyafetleri, vardiya sonunda güvenli bir soyunma odasında çıkarılmalıdır. Çamaşırları yıkayan kişinin de dikkatli olması gerekir.Kömür tozuyla temas ettikten sonra, yemeklerden, tuvalete gitmeden, sigara molası vermeden veya herhangi bir ilaç almadan önce eller ve kollar yıkanmalıdır. Kömür tozu bulunan herhangi bir çalışma alanında yemek yemekten, içmekten veya sigara içmekten kaçının.

2.2. TARTIŞMA

Bu nedenle, çeşitli maden makinelerinde (ekskavatörler, yükleyiciler, kepçeli ekskavatörler, damperli kamyonlar ve diğer makineler) meydana gelen duruşlar hakkında veri içeren değerli bir veritabanı ve operatörlerin işyerinin ergonomik uygunluğu, çalışma koşulları, organizasyonel iklim vb. konulardaki tutumlarını içeren bir veri tabanı, bağlamsal faktörler ile risklerin ortaya çıkması üzerindeki etkiden kaynaklanan neden-sonuç ilişkileri arasındaki karşılıklı bağımlılıklar hakkındaki hipotezleri kanıtlamayı mümkün kılmıştır. Maden makinelerinin çalışmasından kaynaklanan riskin bağlamsal bağımlılığını tanımlayan yapısal denklem modelinde tasarlanan 'de yeni gözlemlenen operatör-yönetici-maden makinesi için istenmeyen olayların ortaya çıkmasını tahmin etmemizi sağlayan önemli karşılıklı bağımlılıklar olduğunu göstermektir. Yine de, sistemin kilit bir unsuru olan insan faktörünün önerilen önleyici veya hafifletici tedbirleri uygulayıp uygulamayacağı sorusu ortada durmaktadır. Bu nedenle, madencilik makineleriyle çalışma riskini azaltmak için bağlamsal uyarlanabilir KDS’nin (Karar Destek Sistemi) daha da geliştirilmesinde, önleyici ve/veya hafifletici tedbirlerin uygulanmaması durumunda operatörün daha fazla çalışmasını engelleyecek bir alarm sistemi geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bu KDS'ye faydalı bir açıklanabilirdik kazandırmak ve kullanıcıların bir sistemin belirli bir çıktıyı neden ürettiğini anlamalarını sağlamak için de önemli çalışmalar yapılması gerekmektedir; bu da, kanaatimizce, sistemin kullanımını genişletecektir.

Endüstriyel sistemler karmaşık bir sosyo-teknik sistemi temsil ettiğinden, yönetici-operatör-makine etkileşiminin endüstriyel güvenlik üzerindeki etkisinin, bağlamsal faktör kategorileri olarak araştırılması gerekmektedir. Ancak, modern bilimsel literatür bu konuda yeterli araştırma olmadığını ve teknik gerçeklerin teknik standartlar ve normlar üzerindeki etkisinin çok sınırlı olduğunu göstermektedir. Öte yandan, düzenleyici gerekliliklerin, endüstriyel makine ve ekipman kullanıcılarının tüm hiyerarşik düzeylerdeki ihtiyaçları dikkate alındığında, bunların tanımlanması ve nitelendirilmesindeki zorluklara ve karmaşıklıklara rağmen, yeterli sonuçlar vereceği bilinmektedir. Elbette, çalışanların işyerindeki güvenliği, herhangi bir özel faaliyet için bir ön koşuldur. Bu nedenle, işyerindeki çalışanların, yani işyerlerinin güvenlik yönetimi, üretim yönetim sisteminin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilir. Güvenlik yönetimine yönelik geleneksel yaklaşım, makine, araç ve ekipman tasarımı ile güvenlik politikaları ve prosedürleri gibi teknik faktörlere odaklanır. İşyerindeki güvenliği iyileştirmek (sürdürmek) için aynı teknik, endüstrinin başlangıcından beri dünyada bilinmektedir, ancak yönetim biliminde, işyerindeki çalışanların güvenliğini etkileyen faktörleri sistemleştirmeye yönelik çok daha sonraki girişimler vardır. Başka bir deyişle, iş

faaliyetlerinin güvenli bir şekilde yürütülmesine ilişkin prosedür ve kurallara uymak, çalışanların tam güvenliğini sağlamak için yeterli değildir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, Artvin Cerattepe Eti bakır A.Ş yeraltı bakır ocağında çalışma yürüterek güvenli olmayan davranışlara katkıda bulunan faktörleri etkili bir şekilde inceledi. Bu inceleme için yapılan ankete toplam 84 iş makinası operatörü katıldı. Bulgular, operatörlerin güvenli olmayan davranışlarını etkileyen iki temel faktörü vurguladı: Birincisi, sosyal destek, iş tatminsizliğini artırarak güvenli olmayan davranışları dolaylı olarak etkiledi ve ikincisi, bağımlılığın operatörlerin güvenli olmayan davranışları üzerindeki doğrudan etkisi. Güvenli olmayan davranışları etkilemedeki özel rollerini tam olarak kavramak için daha fazla araştırma yapılması şarttır. Kritik faktörlerin gerçek zamanlı olarak sürekli izlenmesi ve analizi, yalnızca potansiyel risklerin belirlenmesine değil, aynı zamanda operatörlerin iş güvenliği konusundaki memnuniyetinin artırılmasına da yardımcı olabilir, bu da madencilik şirketlerindeki güvenlik performansına büyük katkı sağlar. Bu araştırma çalışması, operatörlerin madencilik sektöründeki iş yeri sağlığı ve güvenliğiyle ilgili belirli faktörler hakkındaki görüşlerinin operatör güvenlik memnuniyetini nasıl etkilediği ve güvenlik performansını nasıl artırdığı konusunda bir fikir vermektedir. Çalışma, örgütsel iklim faktörlerinin operatör memnuniyeti üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu ve dolayısıyla güvenlik performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Bu makalenin teorik çıkarımları, iş ekipmanı, çevresel, insan davranışı ve örgütsel iklim faktörleri gibi güvenlik faktörlerini ve bunların maden makinesi operatörlerinin güvenlik memnuniyeti üzerindeki etkilerini bütünleştiren teorik çerçevenin geliştirilmesine yansımıştır. Bu çerçeve, güvenlik faktörleri ile maden makinesi operatörlerinin memnuniyeti arasındaki ilişkinin daha derin bir şekilde anlaşılmasıyla literatürdeki boşluğu dolduracak ve özellikle güvenlik performansının iyileştirilmesine odaklanacaktır. Bu makalenin önemli katkısı da, maden makinesi operatörlerinin memnuniyetini önemli ölçüde etkileyen kritik güvenlik faktörlerini belirlemesi ve maden makinelerinin kullanıldığı şirketlere önerilerde bulunmasıdır. Sonuçlara göre, örgütsel destek, iş arkadaşı desteği, yönetici desteği, çalışan katılımı, İSG ile ilgili eğitim ve yönetim taahhüdü, operatörlerin güvenlik önlemlerine ilişkin memnuniyet algısı için kritik öneme sahiptir. İş tatmini sağlamak ve performansı artırmak için çalışanlara yatırım yapmak gerekmektedir; çünkü araştırma sonuçları, iş sağlığı ve güvenliği önlemleri ve kuralları konusunda bilgi, motivasyon ve farkındalık eksikliği olduğunu göstermektedir. Daha fazla iyileştirme önerisi, çalışma ortamının özel ihtiyaçlarını daha iyi karşılamak için koruyucu iş ekipmanlarının geliştirilmesini içerebilir. Bu, araştırma bulgularının da gösterdiği gibi, operatörlerin güvenlik koşullarına daha fazla önem vermesine katkıda bulunabilir. Bu sonuçlar, madencilik şirketlerindeki karar vericilerin operatör memnuniyetini ve güvenlik performansını iyileştirme önceliklerini belirlemeleri için bir yol haritası görevi görebilir. Bu çalışmanın bulguları, çalışan güvenliği memnuniyetini destekleyen koşulların oluşturulması ve aynı zamanda işyerindeki genel güvenlik ve verimliliğin artırılması için çalışma ortamının daha fazla araştırılması ve iyileştirilmesinin önemini ortaya koymaktadır. Çalışma koşullarının kendine özgü yapısı göz önünde bulundurulduğunda, maden makinesi operatörlerine yeterli eğitim ve

kaynak sağlanması hayati önem taşımaktadır. Bu, stres ve yorgunluğun azaltılmasına yardımcı olacak ve böylece daha yüksek memnuniyet seviyelerine ve gelişmiş güvenlik performansına yol açacaktır.

KAYNAKLAR

Aliabadi, M.M., Aghaei, H., Kalatpour, O., Soltanian, A.R. ve Seyed, M. (2018). Effects of human and organizational deficiencies on workers' safety behavior at a mining site in Iran. Epidemiol. Health 40, 2018019.

Baraza, X., Escofet, N ve Rodríguez, R. (2023). Statistical analysis of the severity of occupational accidents in the mining sector. J. Saf. Res. 86, 364–375.

Cavuoto, L ve Megahed, F. (2016). Understanding fatigue and the implications for worker safety. InASSE Professional Development Conference and Exposition(pp. ASSE-16). ASSE. https://foundation.assp.org/docs/BPCav_1217z.pdf.

Dempsey, P.G., Kocher, L.M., Nasarwanji, M.F., Pollard, J.P., Whitson, A.E.(2018) Emerging ergonomics issues and opportunities in mining. Int. J. Environ. Res. Public Health 15, 2449. [CrossRef] [PubMed]

Dodoo, J.E.; Surienty, L., Al-Samarraie, H.(2023). The influence of learning-oriented leadership for promoting future-directed workplace.

Drews, F.A., Rogers, W.P., Talebi, E ve Lee, S. (2020). The experience and management of fatigue: a study of mine haulage operators. Min. Metall. Explor. 37, 1837–1846. https://doi.org/10.1007/s42461-020-00259-w.
Duarte, J.; Marques, A.T ve Santos Baptista, J.(2021). Occupational Accidents Related to Heavy Machinery: A Systematic Review. Safety **2021**, 7, 21.

Groves, W.A.; Kecojevic, V.J ve Komljenovic, D. (2023). Analysis of fatalities and injuries involving mining equipment. J. Saf. Res. **2007**, 38,

Gul, M ve Ak, M.F. (2018). A comparative outline for quantifying risk ratings in occupational health and safety risk assessment. J. Clean. Prod. 196, 653–664.

Guo, Y ve Yang, F.(2023). Mining safety research in China: Understanding safety research trends and future demands for sustainable mining industry. Resour. Policy 83, 103632. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103632.

Haas, E.J ve Yorio, P.L. (2021). Exploring the differences in safety climate among mining sectors. Min. Metall. Explor. 38 (1), 655–668. https://doi.org/10.1007/s42461-020- 00364-w. https:// doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.012. India, 15–17 March 2012; pp. 658–661.

Horberry, T.; Burgess-Limerick, R.., Cooke, T ve Steiner, L. (2016). Improving Mining Equipment Safety Through Human-Centered Design.
Ergon. Des. **2016**, 24, 29–34.

Ismail, S.N., Ramli, A ve Aziz, H.A (2020. Research trends in mining accidents study: a systematic literature review. Saf. Sci. 143, 105438. https://doi.org/10.1016/j. ssci.2021.105438. innovation. Min. Metall. Explor., 37, 1385–1399.

Jacek, K., Eugeniuszi, R ve Tadeusz, S. (2008). Protective structures for construction and mining machine operators. Elsevier Volume 17, Issue 3, March 2008, Pages 232-244.

Komljenovic, D., Loiselle, G. ve Kumral, M. Organization: A new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment. Int. J. Min. Sci. Technol. **2017**, 27, 617–625.

Marimuthu, R., Sankaranarayanan, B ve, Karuppiah, K. (2023). Prioritizing the factors affecting the occupational health and safety of workers in the mining industry using the SWARA Technique.. First International Conference on Data, Computation and Communication 202 DOI: 10.1109/ICDCC.2024.114 4.

Onifade, M., Said, K.O ve Shivute, A.P.(2023). Safe mining operations through technological advancement. Process Saf. Environ. Prot 175, 251–258. https://doi. org/10.1016/j.psep.2023.05.052.

Parimitha,S., Lathikasri, R., Inbamalar, T.M ve Kannagi, V. (2024). Enhancing Mining Operations: A Novel Telematic Control Unit with Integrated Driver Management and Predictive Maintenance

Pelders, J ve Nelson, G. (2019). Contributors to fatigue of mine workers in the South African gold and platinum sector. Saf. Health Work 10 (2), 188–195. https://doi. org/10.1016/j.shaw.2018.12.002.

Reason, J., Parker, D ve Lawton, R (1998). Organizational controls and safety: the varieties of rule-related behaviour. J. Occup. Organ. Psychol. 71 (4), 289–304. https://doi. org/10.1111/j.2044-8325.1998.tb00678.xsafety in the mining industry. Saf. Sci. 2023, 159, 106010.

Salami, O.B., Xu, G., Kumar, A.R ve Pushparaj, R.I. (2023). Underground mining fire hazards and optimization of emergency evacuation strategies: the issues, existing methodology and limitations, and way forward. Process Saf. Environ. Prot.

Sánchez, F ve Hartlieb, P. (2020). Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive. Mining Metallurgy & Exploration. DOI: 10.1007/s42461-020-00262-1

Sargeant, M ve Giovannone, M. (2011). Vulnerable workers: health, safety and well-being. Gower Publishing, Ltd. doi: 10.4324/9781315547831.

Spasojevi, Birki ve V, Mihajlovic (2023). Development of contingent/contextual theory: A state-of-the-art review. Tehnika 2023, 78, 77–88.

Stemn, E ve Benyarku, C.A. (2023). Mineworkers' perspective of fatigue: a study of the Ghanaian mining industry. Saf. Sci. 162, 106095. https://doi.org/10.1016/j. ssci.2023.106095.

Talebi, E., Rogers, W.P., Morgan, T ve Drews, F.A (2021). Modeling mine workforce fatigue: finding leading indicators of fatigue in operational data sets. Minerals 11 (6), 621. https://doi.org/10.3390/min11060621.

Tetemke, D., Alemu, K., Tefera, Y., Sharma, H.ve Worku, W(2014). Knowledge and practices regarding safety information among textile workers in Adwa town. Ethiopia. Science Postprint 1 (1), 00015. https://doi.org/10.14340/ spp.2014.01A0004.

Tufano, P. (1996). Who manages risk? An empirical examination of risk management practices in the gold mining industry. J. Financ. 51 (4), 1097–1137. https://doi.org/ 10.1111/j.1540-6261.1996.tb04064.

Wegerich, S. W., Wolosewicz, A., Xu, X., Herzog, J. P ve Pipke, R. M. (2009). US Patent No. 7,640,145. Washington, DC: US Patent and Trademark Office.

Xia, N., Wang, X., Griffin, M.A., Wu, C. ve Liu, B. (2017). Do we see how they perceive risk? an integrated analysis of risk perception and its effect on workplace safety behavior. Accid. Anal. Prev. 106, 234–242.

Yang, X., Krul, K.ve Sims, D. (2022). Uncovering coal mining accident coverups: an alternative perspective on China's new safety narrative. Saf. Sci. 148, 105637.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ARTVİN İLİNDE MADENCİLİK AKTİVİTELERİ

İBRAHİM KONUK

Dr. Öğr. Üyesi, T.C Artvin Çoruh Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi İş sağlığı ve Güvenliği Bölümü, ikonuk2012@hotmail.com- ORCID No: 000-0003-4082-2570

ÖZET

İlk madencilik kanunu olan 3213 sayılı Maden Kanunu 1985 yılında yasalaşmış ve ülkemizde yürürlüğe girmiştir. Kanun 1985 yılından beri 31 kez değişmiştir, En son değişiklik geçtiğimiz haziran ayında yapılmıştır. Bu yapılan değişiklikler, Ülkemizi, daha fazla alan maden ruhsatların verilmesine olanaklı ve tabiat alanlarının tahrip olmasına açık hale getirmiştir. Bu yapılan kanun değişikliklerinin en önemlisi ve kırılma noktası olan 2004 yılı değişikliğidir. Bu değişiklikle " Gen koruma ormanları, Tabiat anıtları, Özel koruma bölgeleri, Ağaçlandırma alanları, Sit alanları, Tarihi kültürel varlıklar, . Milli parklar, Tarım alanları, Su havzaları ve Yabani hayatı koruma alanları", madencilik çalışmalarına açılmıştır. Bu koruma alanlarını koruyacak kanun halen yürürlükte değildir ve madencilik faaliyetleri ile tahrip edilmektedir. Bu yapılan kanun değişiklikleri, Artvin' ilini de büyük oranda etkilemiştir. Su varlıklarının, doğa ve tarım arazilerinin ve kültürel mirasın, bu tip çalışmalar sebebiyle, karşı karşıya kaldığı tehditler daha da artmıştır. Bu makale, Artvin'de yapılan madencilik çalışmalarını ve çevreye olan etkilerini araştırmak amacıyla yazılmıştır Artvin gibi doğal zenginlikleri ekolojik zenginliği ve tabiat varlıkları olan bölgelerin korunması ve tarımsal üretimi teşvik eden ve daha çok alanı tarıma açılması bakımından, bu tip bölgelerle ilgili özel önlemlerin alınması gereklidir. İklim değişikliğinin artan etkilerini de göz önüne aldığımızda sağlıklı toplum ve çevrede yaşamamız açısında, alınacak bu önlemler her geçen gün daha da çok gerekliliğini göstermektedir. Artvin halkı, 25 yıldan fazla bir süredir yapılmak istenen metalik madencilik projelerine karşı "Yeşil Artvin Derneği" öncülüğünde mücadele etmektedir. Artvin'de, volkajenik masif sülfit ve skarn pirometasomatik tipinde çinko, kurşun, bakır ve demir rezervleri, epitermal ve damar tipinde gümüş altın oluşumları, , volkano tortul tip mangan ve porfiri tipinde bakır ve molibden cevherleşmeleri, kömür, grafit, "feldspat, kil, kaolin, kiremit toprakları, bentonit" (seramik sanayi hammaddeler)i, çimento hammaddeleri (kireçtaşı), "granit, bazalt, andezit, dasit, granodiorit, mermer-traverten-oniks" gibi inşaat yapı taşlarının oluşumları, Artvin'i madencilik yapmak için elverişli duruma getirmektedir. Artvin'in madencilik geçmişi Roma öncesi dönemlere kadar uzanır. Ayrıca sıcak termal ve soğuk doğal mineral su kaynakları vardır. Artvin'in madencilik rezervleri arama çalışmaları ile ilgili bilgiler "MTA dan (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)" ve madencilik firmalarının çalışmaları ve ruhsat durumları il ilgili bilgiler "Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Artvin Bölge Müdürlüğünden" ayrıca madencilik çalışmalarının çevreye olan etkileri ile ilgili bilgiler, "Artvin ve Çevresinde Madencilik Raporu" adlı Tema vakfının 2021 yılında yayınladığı rapordan ve internet ortamından alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Artvin. Çevre, Madencilik, Cevher

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

THE MINING ACTIVITIES IN ARTVİN PROVINCE

Abstract

The first mining law, Law No. 3213 on Mining, was enacted in 1985 and came into force in our country. Since 1985, the law has been amended 31 times, the most recent amendment made last June. These amendments have made our country more vulnerable to the granting of mining licenses and the destruction of natural areas. The most important and turning point of these amendments is the one made in 2004. With this change, “gene conservation forests, natural monuments, special protection areas, afforestation areas, archaeological sites, historical and cultural assets, national parks, agricultural areas, water basins, and wildlife conservation areas” have been opened up to mining activities. The law that would protect these protected areas is still not in effect, and they are being destroyed by mining activities. These legal changes have also significantly affected the province of Artvin. The threats faced by water resources, natural and agricultural lands, and cultural heritage have further increased due to these types of activities. This article is written to investigate mining activities in Artvin and their environmental impacts. Regions like Artvin, with their rich natural resources, ecological wealth, and natural assets, require special measures to protect these types of areas and encourage agricultural production and opening up more land to agriculture. Considering the increasing effects of climate change, these measures are becoming increasingly necessary for a healthy society and environment. For over 25 years, the people of Artvin have been fighting against proposed metallic mining projects, led by the "Green Artvin Association." Artvin is suitable for mining due to its volcagenic massive sulfide and skarn pyrometasomatic reserves of zinc, lead, copper, and iron; epithermal and vein-type silver-gold formations, volcano-sedimentary manganese and porphyry-type copper and molybdenum mineralizations; and the presence of coal, graphite, feldspar, clay, kaolin, tile clays, bentonite (raw materials for the ceramic industry), cement raw materials (limestone), and building stones such as granite, basalt, andesite, dacite, granodiorite, marble, travertine, and onyx. Artvin's mining history dates back to pre-Roman times. It also has hot thermal and cold natural mineral water sources. Information regarding exploration activities for mining reserves in Artvin is obtained from the MTA (General Directorate of Mineral Research and Exploration), information regarding the activities and licensing status of mining companies is obtained from the Artvin Regional Directorate of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, and information regarding the environmental impacts of mining activities was taken from the "Mining Report in Artvin and its Surroundings" published by the TEMA Foundation in 2021 and from online sources.

Keywords: Artvin, Environment, Mining, Ore

GİRİŞ

Doğal güzellikleriyle ünlü Artvin ili, ülkemizin kuzey doğusunda yer alır. Gürcistan ile sınırdır.9 ilçesi bulunur. Ardahan, Erzurum ve Rize illeriyle komşudur. Çok zengin doğal ve kültürel zenginlikler barındırmaktadır. İlçeleri, Arhavi, Ardanuç, Borçka, Hopa, Kemalpaşa, Şavşat, Yusufeli ve Merkez ilçedir. (Değirmenci, 2007; Akyol, 2020). Artvin ve çevresinde Karadeniz iklimi vardır. İç kesimlerinde ise karasal iklim hâkimdir (Engin ve Aydınözü, 1998). Alçak rakımda ılıman yağış, yüksek dağlık ve soğuk yerlerde ise kar yağışı olur (Çanlı, 2015). Bölgede çeşitli yükseltilerde dağlar bulunmaktadır. 3937 m yüksekliğe sahip Kaçkar Dağı, Karadeniz de bulunan dağların en yükseğidir. Kaçkar dağının yanı sıra İskaristi, Altıparmak, Kükürtlü ve Yalnızçam dağları yükselmektedir. Artvin de, alüvyon düzlüklere sahip Hopa ve Arhavi dışında, düz alanlar bulunmamakta dağların tepesinde geniş düz yaylalar büyük bir alan kaplamaktadır. Bu alanlarda, memeliler, kuşlar, dağlarda yırtıcı kuşlar ve 210 tür, bazıları endemik olan kelebekler yaşar. Kısacası, Artvin bulunduğu lokasyon ve çeşitli iklimler nedeniyle nadir bulunur biyolojik ve canlı hayvan çeşitliliğine sahiptir. Su varlığı olarak göller olarak Şavşat ve Borçka'daki Karagöller öne çıkarken, yüksek yerlerde çeşitli ad ila anılan buzul gölleri mevcuttur. Akarsular olarak Çoruh nehri, Oltu, Tortum ve Bahral çayları önemlidir (Yılmaz, 2010). Tabiatı koruma alanları, Tarihi kültürel miraslar ve Milli Parklar, Tabiat anıtları ve sit alanları, Yabani hayatı koruma sahaları ve gen koruma ormanları Artvin ili sınırları içeresindedir.

Camili-Efeler Macahel) tabiatı koruma alanı, Altıparmak tabiat parkı, Balıklı Güneşli şelaleleri tabiat parkında, kestane, kızılağaç, fındık kayın, orman gülü bulunmaktadır. Bu parkta porsuk, tavşan, ayı ve kurt ve endemik kelebekler havanlar yaşar. Borçka Karagöl tabiat parkı içinde güzel manzaralar ve çeşitli ağaçlar (köknar, ladin, kızılçam, kayın vs.) bulunur, bir turizm sahasıdır. Yılda binlerce kişi yöreyi ziyaret etmektedir. Camili (Macahel) Gorgit tabiatı koruma alanı Hatila vadisi Milli parkı içinde şekilli bazalt kayaları ve derin vadileri ve yüksek yamaçlı dağları vardır. Endemik türe sahip bitkilerde bulunur ve çeşitli türlü bitkilere ev sahipliği yapar. Ziyaretçi çeker ve seyir alanları bulunur. Sahara-Karagöl Milli Parkı, Şavşat ilçesindedir çeşitli orman ağaçları barındırır, derin ve dar vadilerden meydana gelir. Çok sayıda ziyaretçi çeker. Çamburnu Tabiatı Koruma Alanı, Tortum havzası, Çoruh vadisi Artvin ili sınırlar içeresinde bulunur. Şavşat Meydancık Papart Vadisi doğal sit alanı, Şavşat Sahara yaylası, Kamilet Doğu Kayını Tabiat Anıtı, Arhavide Mencuna şelalesi, Melodere, Doğu Ladini Tabiat Anıtı, Balıklı-Maden Yaban Hayatı Koruma Sahası, Tohum Meşçereleri, Gen Koruma Ormanları, Artvin de sekiz adet farklı gen koruma orman sahası yer almaktadır. Bu alanlarda doğu Karadeniz meşesi, doğu ladini, sakallı kızılağaç, Anadolu kestanesi, Kafkas ıhlamuru, sarıçam, Doğu Karadeniz köknarı ve fıstık çamı koruma altına alınmıştır (Eminağaoğlu ve Beğen, 2015). Biyolojik çeşitlilik, çevresel ve biyolojik süreçler bakımından Artvin florası ve faunası çok zengindir (Eken vd., 2006).

Artvin'deki Madencilik Ruhsatları

MAPEG' den alınan bilgilere göre çalışma alanında bulunan IV. Grup madenlere(metalik mineraller) ilişkin ruhsat alanı toplam olarak 821.323 hektardır. Bu alan işletme, ihale ve arama ve işletme olarak sınıflandırılarak 522 adet ruhsata bölünmüştür. Çalışma alanının %71'i

ruhsatlıdır. Artvin merkez ve çevresinin, %9'una işletme ruhsatı, %45'ine ihale, %17'sinede arama ruhsatı verilmiştir. Maden ruhsat alanlarının en fazla olduğu ilçelerin başında ise %94'lük oranı ile Artvin Merkez ilçe gelir, bunu %96'lık oranı ile Murgul takip eder. Şavşat ve Ardanuç ilçeleri hariç, diğer ilçelerin yüzölçümlerinin %70'inden fazlası madencilik faaliyetleri için ruhsatlandırılmıştır (Tema Vakfı, 2021).

Ormanlar ve Tarım alanları

MPEG'den alınan bilgilere göre Artvin'deki, ormanlık alanların %65'i madencilik çalışmaları için ruhsatlıdır. Orman alanlarının %8'i işletme ruhsatlı %16'sı arama ve%41 ise ihale ruhsatlıdır. Mera alanlarının %54'ü ve Tarım alalarının %47'si madencilik için ruhsatlıdır. Artvin'in önemli geçim kaynaklarından biri hayvancılıktır. Bu açıdan bakıldığında hayvancılık olumsuz yönde etkilenecektir. Tarım alanlarındaki madencilik ruhsatları incelendiğinde, ruhsatların, % 10'unun arama ,% 4'ünün işletme ve %33'ü ise ihale ruhsatlıdır. Mera alanlarının ise , %3'ü işletme, %36'sı ihale ve %15'i arama ruhsatlıdır (Tema Vakfı, 2021).

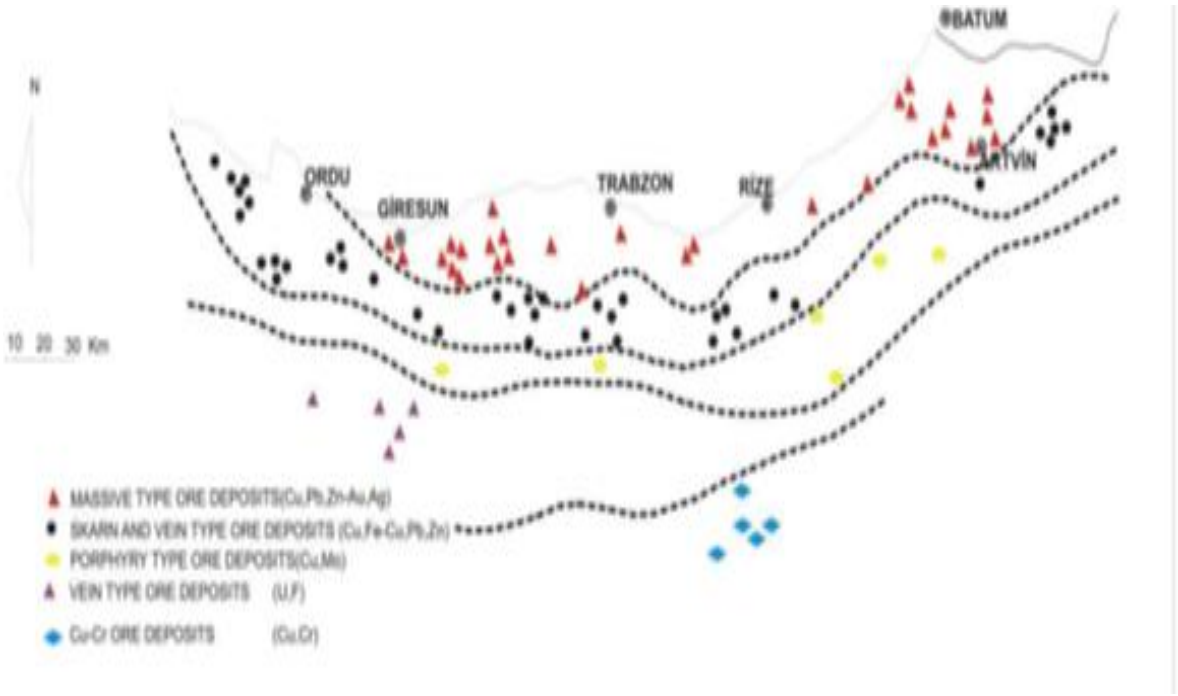
Doğa Koruma Alanları

Bu tip alanların %2'si işletme, %37'si ihale ve %8'i ise arama ruhsatlıdır. Ne yazık ki Milli parklarda madencilik ruhsat alanlarına dâhildir. Artvin de bulunan Milli parkların %84'ü madencilik çalışmalarına ruhsatlıdır. %30'u arama, %54'ü ise ihale, ruhsatlıdır. Koruma alanlarının(Doğal Sit Alanı, Tabiat Parkı, Özel Çevre Koruma Bölgesi vs.) %47'si madencilik çalışmalarına açılmıştır. Bu koruma alanlarının %2'si işletme, %8'i ve %37'si ihale ruhsatlıdır. Artvin ve çevresinde çok sayıda kültürel varlık yer almaktadır. Bu kültür miraslarının, arkeolojik sit, korunması gereken taşınmaz kültür varlıkların%23'ü madencilik çalışmalarına açılmış ve ruhsatlıdır. %4'ü arama, %19'u ihaledir. Artvin il sınırları içerisinde önemli doğa alanlarına yüzdelik dağılışı ise Doğu Karadeniz Dağları'nın %72'si, Karçal Dağları'nın %81'i, Çoruh Vadisi'nin %66'sı madencilik aktivitelerine açılmıştır (Tema Vakfı, 2021). Artvin ili, özellikle metalik maden yatakları bakımından dikkati çekecek şekilde çok zengindir. Bu metalik yatakları, endüstriyel hammaddeleri (mermer, bentonit, çimento hammaddeleri vs), sıcak ve soğuk su kaynakları aramak ve çıkarmak için MTA (Maden Tetkik ve Arama Trabzon Bölge Müdürlüğü) ve özel madencilik firmaları şimdiye kadar toplam 350.000 m sondaj yapmışlardır (MTA, 2010).

MATERYAL VE YÖNTEM

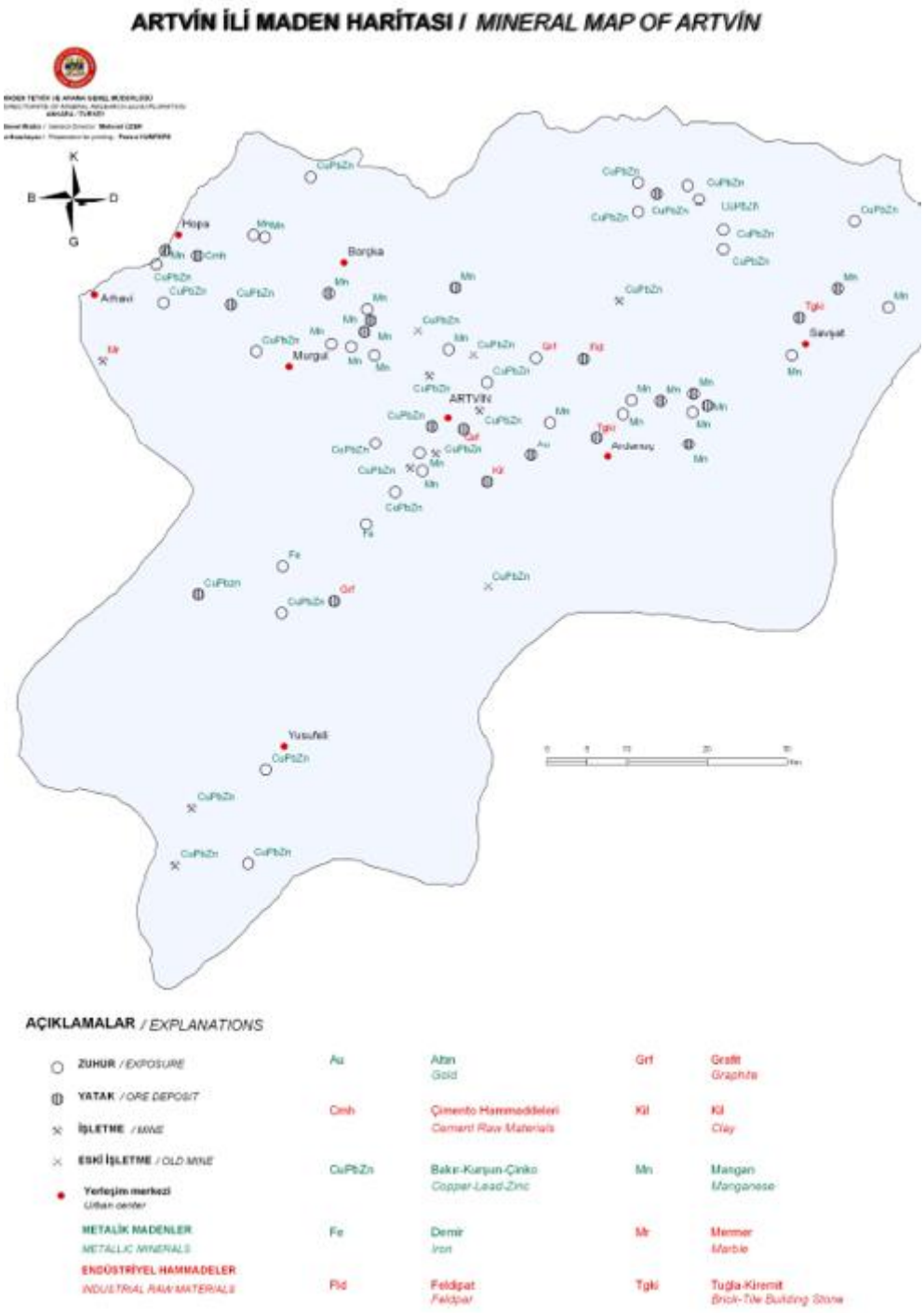
Artvin ili içerisinde madencilik yapan şirketlerin listesi, ruhsat durumları ve çalışmalarıyla ilgili bilgiler, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğünden, maden yatakları hakkında bilgiler ve bu güne kadar yapılan sondajlar ve ilgili tablo ve haritalar MTA Trabzon Bölge Müdürlüğünden edinilmiştir. Artvin ilinde bulunan halen çalışan maden sahaları yerinde ziyaret edilerek, üretim faaliyetleri ile ilgili bilgiler alınmış ve fotoğraflar çekilmiştir. Bu bilgiler ışığında, literatürde taranan bilgiler birleştirilerek bu araştırma yapılmıştır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil.1. Doğu Karadeniz'deki Maden Yataklarının Dağılımı (MTA, 2010)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil.2. Artvin Bölgesi Maden Yatakları Haritası (MTA, 2010)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge.1. Artvin İli Metalik Cevherleri Lokasyonu (MTA, 2010).

L	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Merkez	Kafkasör(Cerattepe)	Carettepe Cu-Pb-Znyatağı
Artvin	Merkez	Seyidler	Seyidler Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Beşağıl	Beşağıl Cu-Zn zuhuru
Artvin	Merkez	Erenler	Erenler Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Kuvarshan	Kuvarshan Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Sinkot	Sinkot Zn-Pb yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Damar Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Çakmakkaya Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Çarkbaşı Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Damar	Kızılkaya Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Akarşen	Akarşen Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Hahur sırtı	Hahur sırtı Cu yatağı
Artvin	Murgul(Göktaş)	Çamurlu yayla	Çamurlu yayla Cu zuhuru
Artvin	Arhavi	Tepeköy	Tepeköy Zn-Cu-Pb yatağı
Artvin	Hopa	Çamlıköy	Peronit Cu-Zn-Pb yatağı
Artvin	Şavşat	Çukurdere	Çukurdere Cu-Zn-Pb zuhuru
Artvin	Şavşat	Okçular	Okçular Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Tepebaşı	Köpekdere Cu zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Gigazile Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Talat'ın madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Muzoocağı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Dereiçi (Dasomop)	Yeniaçması Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Kayanın madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Binektaşı Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Fikrimin madeni Cu-Zn yatağı
Artvin	Şavşat	Dereiçi	Hasan açması Cu-Zn yatağı
Artvin	Göktaş	Kilistepe	Kilistepe Cu zuhuru
Artvin	Merkez	Hot	Hot Cu zuhuru
Artvin	Şavşat	Taşucu(Cevliyet)	Taşucu Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşbaşı	Taşbaşı Cu-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Konaklı	Konaklı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli (Peterek köy)	Çevreli Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Tekkale	Ahet Cu-Pb-Zn yatağı
Artvin	Yusufeli	Çamkerten	Çamkerten Pb-Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşbaşı	Taşbaşı Cu-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Konaklı	Konaklı Cu-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli (Peterek köy)	Çevreli Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Tekkale	Ahet Cu-Pb-Zn yatağı
Artvin	Yusufeli	Çamkerten	Çamkerten Pb-Cu zuhuru
Artvin	Murgul(Göktaş)	Başköy	Başköy Cu-Zn yatağı
Artvin	Merkez	Melo(Sarıbudak)	Ballıkaya Cu zuhuru
Artvin	Merkez	Ortaköy(Berta)	Ortaköy Cu-Zn-Pb zuhuru
Artvin	Arhavi	Güneşli	Güneşli Zn-Cu-Pb

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Artvin	Hopa	Çamlıköy (Sivrikaya)	Çamlıköy Cu-Pb-Zn zuhuru
Artvin	Yusufeli	Esendal(Zoybar)	Esendal Cu-Zn yatağı
Artvin	Arhavi	Güneşli	Olçidere Cu-Zn Zuhuru
Artvin	Arhavi	Yolgeçen	Yolgeçen Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Taşkıran	Taşkıran Cu-Zn zuhuru
Artvin	Şavşat	Madenköy	Yusuflar Cu-Pb yatağı
Artvin	Yusufeli	Balcılı	Balcılı Cu yatağı
Artvin	Yusufeli	Börekli	Börekli Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Çevreli	Çevreli Cu zuhuru
Artvin	Ardanuç	Araçlı	Araçlı Cu zuhuru
Artvin	Yusufeli	Pohenk	Pohenk Fe zuhuru
Artvin	Ardanuç	Aşağıurmaklar	Aşağıurmaklar Mn zuhuru
Artvin	Ardanuç	Çavdarlı	Çavdarlı Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Tütüncüler(Seçkiyat)	Seçkiyat Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Korucular	Korucular Mn zuhuru
Artvin	Borçka	Balcı	Balcılar Mn zuhuru

Çizelge.2. Artvin İli Endüstriyel Hammadde Yatakları (MTA, 2010.)

İL	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Merkez	Derin köy	Derin köy kil yatağı
Artvin	Merkez	Narlık	Narlı grafit yatağı
Artvin	Ardanuç	Gümüşhane köyü	Rekristalize kireçtaşı yatağı
Artvin	Merkez	Oruçlu	Oruçlu mermer yatağı
Artvin	Savşat	Karçaldere	Karçaldere granit yatağı
Artvin	Hopa	Cankurtaran	Cankurtaran kireçtaşı yatağı
Artvin	Ardanuç	Merkez	Kireçtaşı yatağı
Artvin	Savşat	Karçaldere	Karçaldere feldispat yatağı
Artvin	Yusufeli	Karadağ	Linyit Kömürü (7200 kalori)

Çizelge.3. Artvin İli Termal ve Doğal Mineralli Su Kaynakları (MTA, 2010).

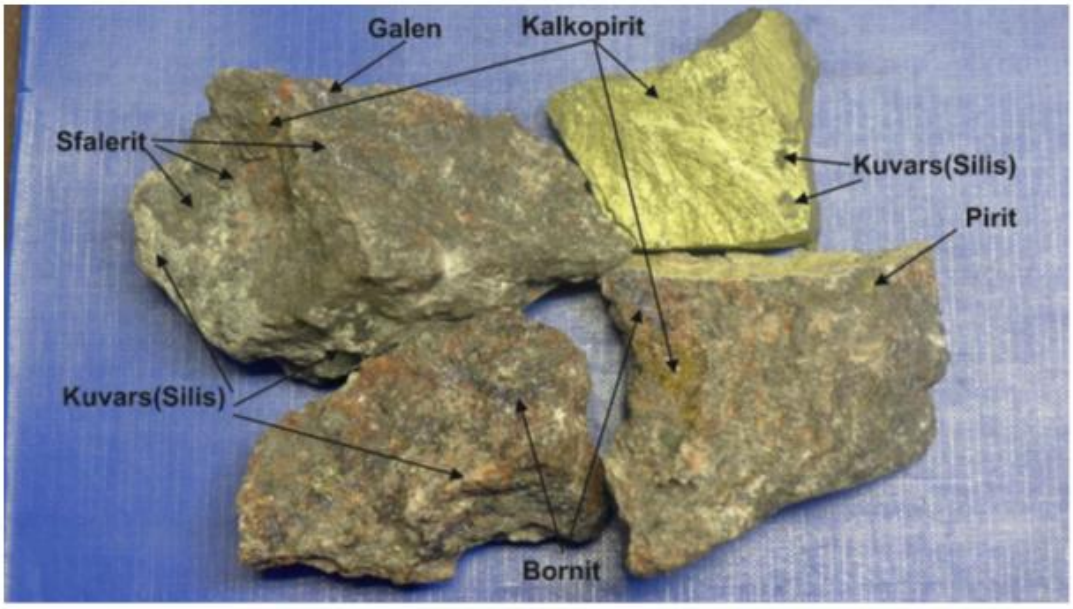
İL	İLÇE	KÖY	MEVKİ ve MADEN YATAĞI
Artvin	Borçka	Balcı	Balcı sıcak su kaynağı
Artvin	Savşat	Çoraklı	Çoraklı sıcak su kaynağı
Artvin	Savşat	Çoraklı	Çoraklı maden suyu

Doğu Karadeniz Metalojenik Kuşağı, D-B yönünde yaklaşık 350 km, K-G yönünde ise yaklaşık 60 km genişliğinde uzanır ve çok sayıda volkanik masif sülfür yatağı, skarn, porfiri, ve epitermal tipi rezervlere ev sahipliği yapar. Sondaj verileri, Au zenginleşmesinin öncelikle sfalerit açısından zengin zonlarda yoğunlaştığını, Ag değerlerinin ise galenit açısından zengin kesimlerde yükseldiğini göstermektedir. Bölgedeki Cu mineralizasyönü genellikle masif cevher gövdesi yerine damar-stokwork formunda meydana gelir (Aydın vd., 2025)

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Çizelge4. MTA Trabzon Bölge Müdürlüğü Tarafından Son Yıllarda Yapılan Sondajlar (MTA.2025)

	İLİ	İLÇESİ	BELDE/ BUCAK	KÖY/ MEVKİİ	PAFTA (1/25.000)	SAĞA (DOĞU) Y	YUKARI (KUZEY) X	KOORDİNAT DİLİMİ (ZON)	YATAK ADI	DURUMU (ZUHUR Z, YATAK Y)	İŞLETME (V: VAR; Y: YOK)	İŞLETME (A: AÇIK; K: KAPALI)	CEVHER KÖKENİ (TÜR,TIP)	YAN KAYAÇ	CEVHER MİNERALLERİ	STRATİGRAFİK YAŞ	TENÖR	REZERV
64	Artvin	Borçka		Balcı	F47-b4	736154	4576231	37	Balcı sıcak su kaynağı			-	Magmatik	Bazalt-andezitik lav-piroklastlar	Sıcak su	Üst Kretase	31 C sıcaklık, debi: 3lt/sn	
65	Artvin	Şavşat		Çimrekli	F48-b4	779794	4583139	38	Çimrekli sıcak su kaynağı			-	Magmatik	Bazalt-andezitik lav-piroklastlar		Eosen	36 C sıcaklık	
66	Artvin	Şavşat		Çimrekli	F48-b4			38	Çimrekli maden suyu				Magmatik	Bazalt-andezitik lav-piroklastlar		Eosen	15 C sıcaklık, 003 lt/sn	
67	Artvin	Merkez		Ereğler	F47-b4	735770	4574748	37	Ereğler Cu-Au-Ag-Zn-Pb Sahası	Z			Volkanojenik Masif Sülfit	Dacit-Riyolit	Cu-Au-Ag-Zn-Pb	Üst Kretase	Cu 1.028,17 ppm	5.086.239 ton
																	Au 356,84 ppb	12.012.798 ton
																	Zn için 13.152,67	4.954.318 ton
																	Ag 23,61 ppm	2.536.628 ton
																	Pb 7641,23 ppm	489.424 ton
68	Artvin	Yusufeli		Evendal	G47-a1-a2	716206	4537762	37	Evendal Cu-Au Sahası	Z			Hidrotermal	Granodiyorit	Cu-Au	Tersiyer	Cu 3.956,58 ppm (% 0,40)	2.459.408 ton
																	Au 2592,97 ppb (0,263 gr/ton)	1.029.036,40
69	Artvin	Murgul		Eğrisuyayla	F46-c3	700367	4554366	37	Murgul Eğrisuyayla Cu Sahası	Z			Porfiri - damar tip	Dacit	Cu	Geç Kretase-Eosen	Cu için 2.287,33 ppm	23.256.480 ton
70	Artvin	Merkez		Sakalar	F47-a2	747500	4570004	37	Sakalar Cu Yatağı	Z			Porfiri Tip	Dacit	FeS2-CuFeS2-Mo	Üst Kretase	Cu için 1.381,60 ppm	60.567.589 ton
71	Artvin	Merkez		Sümbülü (Sinkot)	F47-c1-b4	734200	4569728	37	Sinkot (Sümbülü)Cu-Au-FeS2yatağı	Y			Volkanojenik Masif Sülfit	Dacit-Dacitik tüf	Cu-Au-FeS2	Üst Kretase	Cu için 2.672ppm(~% 0,30) -	108.786.750 ton
																	Au için 292,45ppb (~%0,30)	39.451.375 ton
72	Artvin	Merkez		Sümbülü (Sinkot)	F47-c1-b4	734412	4569817	37		Y					Pb			



Şekil.3. Metalik Minerallerin Görünümü (Bektaş 1985)

Artvin İli Cevherleşmeleri ve Tenörleri (MTA, 2010).

ALTIN

Cerrattepe-Kafkasör 1.3 gr/ton Au, 27 gr/ton Ag (sülfitli cevher), 4 gr/ton Au, 130 gr/ton Ag (okside cevher) 8.250.000 ton okside cevher ve 3.950.000 ton sülfitli cevher vardır.

BAKIR-KURŞUN-ÇİNKO

Yukarı maden Köy (Hot)-Belizer ve Meydan Mahallesi

Daha önceki yıllarda madencilik yapılmıştır, 8,9 g/t altın ve %1,4 bakır içeren 9,1 milyon ton kanıtlanmış ve muhtemel rezerv.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Borçka-Kuvarshan (Bakırköy)
% 2.17 bakır ve % 48,4 sülfür 60.700 ton görünür, 483.000 muhtemel olup 1937-1941 yılları arasında yataktan 9.815 ton Cu olmak üzere toplam 243.388 ton cevher çıkarılmıştır.

Merkez-Sinkot
% 0.39 bakır, 5.000.000 toplam rezerv

Kafkasör-Cerrattepe
% 5.2 bakır: 3.950.000 ton tbakır rezervi

Borçka-Akarşen pirit-bakır Yatağı
% 3,3 bakır, 1,6 gr/ton altın, 29 gr/ton Ag 663.083 ton toplam rezerv.

Borçka-Irsahan
% 0.55 - 1 bakır, : 1.100.000 ton toplam rezerv. Yatak daha öncedeki yıllarda işl.

Murgul-Başköy
% 3.20 bakır ve % 1.34 çinko, 31.500 ton görünür, 50.000 ton toplam rezerv.

Murgul-Aducadere-Kızılkaya
% 1.09 bakır. 1.878.764 ton toplam rezerv

Murgul-Anayatak

%1.594 bakır, 18.000.000 ton cevher. Cevher bitmiştir.

Murgul-Çakmakkaya (Borçka)
% 0.99 bakır, 16.418.000 ton toplam rezerv olup, cevher bitmiştir.

Murgul-Çarkbaşı
% 0.85 bakır, 1.189.365 ton toplam rezerv, çalışılmamaktadır.

Merkez-Seyitler
% 1.58 bakır 1. 649. 110 ton toplam rezerv , % 2.51 Çinko, 0.35 gr/ton altın, 36.84 gr/ton Ag toplam 1.384.740 rezerv

Şavşat-Meydancık(Dereiçi) - Madenköy ve Yusuflar
% 1.16 bakır, % 0.22 kurşun ve % 1.75 çinko: 345.000 ton toplam rezerv..

Şavşat- Meydancık Sahaları

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

% 1.36 bakır, % 0.38 kurşun ve % 3.21 çinko, 354.284 ton rezerv.

Merkez-Melo
: % 1.5-3 bakır ve % 3-10 çinko, : 3.400 ton rezerv.

Yusufeli-Esendal
Düşük tenörlü bakır ve altın, 1.100 ton toplam rezerv.

Yusufeli-Balcılı
% 0.25 bakır, 145.000.000 ton toplam rezerv.

Hopa-Peronit-Abana
% 2-12 çinko, % 0.89 bakır 68.870 ton toplam rezerv,

Ardanuç Gümüşhane
% 0.35 bakır, 43 ppm altın, : 30.000.000 ton toplam rezerv.

Şavşat-Tepebaşı
% 3.09 bakır, 59.500 ton toplam rezerv.

Arhavi-Yukarı kutunit (Tepeköy)
% 1.2 bakır, 300 ton toplam rezerv.

ÇİMENTO HAMMADDELERİ
Hopa-Hendek Sahası
Orta kalitede 65.000.000 ton kireçtaşı rezervi

FELDİSPAT
Şavşat-Kartaltepe % 5.1 potasyum oksit % 4.6 sodyum oksit % 4.6 demir oksit, 46.283.437 ton toplam rezerv.

GRAFİT
Yusufeli-Lusuncur (Değirmentaşı
% 14.29 ile 76.88 karbonlu, 1.195 ton toplam rezerv
1.195 ton görünür rezervi olan grafit-antrasit yatağı belirlenmiştir. Rezervde antrasitin grafit ile bulunması grafit için istenmeyen durumdur. Ocak çalışmamaktadır.
Merkez-Genya Dağ
% 26 karbon, rezervde çalışma yoktur.
Merkez-Ortaköy Sahası
% 7.6 karbon rezervde çalışma yoktur..

KİL (Kil)
Merkez-Derinköy-Killik Tepe
% 14.72 alüminyum oksit, % 2.18 demir oksit, 875.000 ton toplam rezerv.

MANGANEZ (Mn)
Merkez-Tütüncüler
% 24.79 Mangan, : 25.000 ton toplam rezerv.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Merkez-Sarı budak (Melo)
% 25-35 Mangan, 58.500 ton toplam rezerv.
Merkez-Güneyce Mah. Sahası
% 40 Mn rezerv için çalışma bulunmamaktadır.
Merkez-Balcı Sahası
% 42.17 Mangan, Rezerv: 20.000 ton.

KÖMÜR
Irmak Yanı Köyü Yusufeli/Artvin
Rezerv. 1 558 150.53 ton rezerv

TERMAL SULAR
Arhavi Kaplıcaları, Otingo Kaplıcaları(Borçka), Şavşat Kaplıcaları
Çoraklı Kaplıcaları(Yusufeli)

Şekil.4. Artvin Hatila Vadisi (Tema Vakfı. 2021)

1.Artvin'de Üretim Yapan Madenler

1.1. Eti Bakır A.Ş Murgul Bakır Açık ve Yeraltı Ocağı

Türkiye'nin en bakır eski bakır maden ocağı olan Murgul İşletmesi, Ulu önder Mustafa Kemal Atatürk tarafından 1935 yılında işletmeye açılmıştır. 1951'de üretime başlayan, biri açık, diğeri de kapalı olmak üzere iki maden ocağıyla çalışan işletmede yıllık açıldığı yıllarda 45.000 ton bakır konsantresi üretilmekteydi. Murgul'da flotasyon ünitelerinde üretilen bakır ve pirit konsantresi, iki basınçlı boru hattıyla Hopa'daki kurulu tesise pulp halinde nakledilir. Burada filtre ve kurutma işlemine tabi tutulan bakır konsantresi, Samsun bakır izabe tesisine gemilerle taşınır. Murgul İşletmesine ait 25 MW Kurulu güce sahip bir hidroelektrik santrali de bulunuyor., İşletme 2006 yılında özelleştirilmiş Eti Bakır A.Ş ye ihale yoluyla, verilmiştir.. Konsantratörden çıkan atık sular, tikiner(yoğunlaştırma) tankından atık göletinde toplanır. 2

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

adet atık göleti, Damar ve Lebiskür bölgelerinde bulunmaktadır. Atık depolama alanlarının tabanının geçirimli kısmı, geosentetik membran ile kapatılmıştır. Atık göletlerinin üzerindeki temiz su flotasyon tesisine tekrar kullanılmak üzere geri pompalanmaktadır. 2 adet evsel arıtma tesisi vardır.

Şekil.5. Murgul Damar ve Lebiskür Atık Gölet Görünümü.

Şekil. 6. Murgul Damar Açık ocağı ve Akarşen Yeraltı Ocağı.

Şekil.7. Murgul Flotasyon Tesisi.

Murgul Bakır ocağında Damar ve Çakmak kaya açık ocaklarındaki bakır rezervi tükendiğinden, Akarşen yeraltı ocağından günlük %0.9-1.0 bakır terörlü 2000 ila 3000 ton bakır cevheri flotasyon tesisine kamyonlarla taşınmaktadır. Burada yılda 28000 ton %18 bakır tenörlü konsantre ve %49 sülfür tenörlü prit de üretilmektedir. Flotasyon tesisi değirmenlerin cevher besleme kapasite yetersizliğinden devamlı çalışmamaktadır. Depolanan cevher kapasiteyi karşıladığında çalışmaktadır. Ayrıca Kızılkaya açık ocağından da bakır cevheri

takviye olarak gelmektedir. Murgul bakır ocağında 624 işçi çalışmaktadır. 110 kişisi flotasyon tesisindedir.

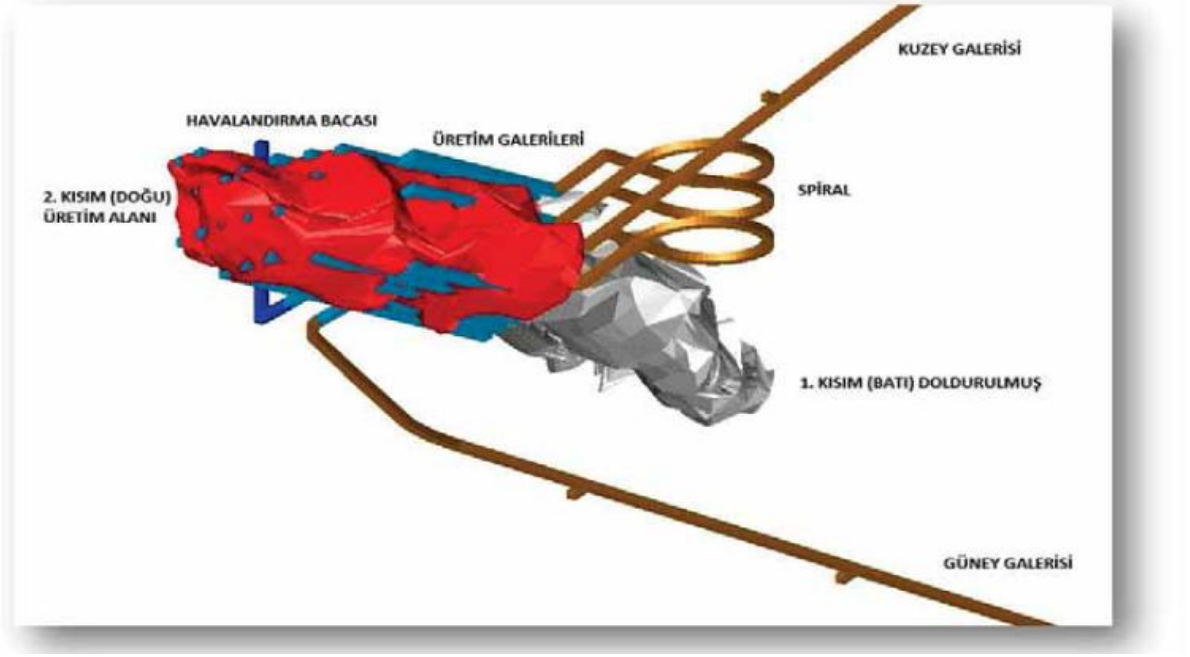
Eti Bakır A.Ş. tarafından planlanan "Murgul Liç Tesisi ve Atık Düzenli Depolama" Projesi, içerisinde altın bulunan maden cevherinin liç edilerek (zenginleştirilerek) altın üretimini ve bu tesisin Atık Düzenli Depolama tesisi kurma projesi vardır. Altın üretmek için kullanılacak olan cevher; Artvin Murgul ve Kastamonu Küre'de bulunan ETİ BAKIR AŞ'ye ait tesislerin kullandığı, içerisinde altın barındıran cevher ile piyasadan alınacak olan cevherdir. Liç tesisi yıllık 750.000 ton kapasitede tüvenan cevher kullanacaktır. Liç işlemi sonucunda yıllık 200 ton çökelmiş malzeme elde edilecek ve tonunda yaklaşık 20 kg altın ve 300 kg gümüş içerecektir. Bu projeye Siyanür ve asit kullanılacağından Murgul halkı karşıdır. ÇED kapsamında çalışmalar sürmektedir. Ayrıca Akarşen yeraltı ocağı yakınına kırma eleme tesisi proje kapsamındadır. Kırma-eleme tesisinde kullanılacak malzeme, Akarşen maden ocağında, cevher üzerinde yer alan dekapaj üst örtü tabakasından karşılanacaktır. Tesiste üretilen malzeme Akarşen maden ocağında yeraltında cevherin çıkarıldığı alanlara geri dolgu malzemesi olarak kullanılacaktır. Tesiste teorik olarak saatlik 150 ton, yıllık ise 360.000 ton malzemenin kırma-eleme işlemine tabi tutulması düşünülmektedir. ÇED kapsamındadır.

1.2. Eti Bakır A.Ş Cearattepe Bakır Yeraltı Ocağı

MTA ve Cominco madencilik şirketinin yapmış olduğu sondajlar ve uydu fotoğrafları neticesinde Artvin-Kafkasör-Cerattepe sahasında yüksek tenörde metalik cevher rezervleri bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre. Altın ve gümüş olarak, 1.2 gr/ton Au, 25 gr/ton Ag (sülfitli cevher), 4 gr/ton Au, 140 gr/ton Ag (okside cevher) 8.200.000 ton okside cevher ve 3.900.000 ton sülfitli cevher bulunmaktadır. Bakır cevheri olarak ise % 5.2 Cu: 3.900.000 ton bakır rezervi bulunmaktadır. Eti Bakır A.Ş. Madencilik Şirketi Artvin'in güney kesimindedir. ÇED olumlu raporunu) 02.06.2015 /3882) tarihînde aldı. Bu bakır rezervinin bulunduğu sahada 2 adet kuzey ve güney galerileri sürülerek cevher rezervinin tabanına ulaşılmıştır (1595 kotu). Buradan taban galerileri sürülmüş ve yukarı kotlara rampa çıkılmış ve tabandan tavana doğru ara katlı dolgu yeraltı madencilik yöntemiyle cevher üretimine başlanmıştır. Üretilen cevherin nakliyesi için 4808 metre uzunluğunda 11taşıyıcı ayaklı 46 kovalı teleferik tesisi kurulmuştur, Günlük ocaktan çıkan 800 ton cevher teleferikle Zelosman yükleme tesisine gelmekte, buradan Murgul konsantratör tesissine kamyonlarla taşınmaktadır. Ayrıca kırma ve eleme tesisi geri dolgu amaçlı pasaları kırıp elemektedir. Cevher üretimi esnasında kırılan pasalar çimento ile karıştırılarak açılan boşlukların doldurulmasında kullanılacaktır. Yıllık 500.000 ton bakır cevheri üretimi, planlanmakta olup, proje ömrü 14 yıldır. . Halen 189 kişi çalışmaktadır. Cerattepe maden yatağında üstte yüksek altın içerikli oksitli zon ve altında ise sülfitli zon bulunmaktadır, yukarıdan bakıldığında demir şapka(gossan) şeklindedir. Rezervde yan kayaçlar kretase yaşlı volkanik intrüsif ve sedimenter kayaçlardır. Yatak önemli oranda metalik mineral (bakır, çinko, kurşun, altın ve gümüş içerir). Altın ve gümüş oranı bakır, kurşun ve çinkoya göre azdır. Maden rezervi 1000m uzunluğunda 150m genişliğindedir. Altın tenoru ortalaması 0.5gr/tondur. Cerattepede yeraltı ocağından çıkan asidik sular arıtma tesisine girmektedir ve daha sonra çevreye salınmaktadır. Ayrıca evsel atıklar için arıtma tesisi bulunmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Şekil.8. Arakatlı Üretiim Yöntemi Uygulamasında Temel Üretim Aşamalari (Özaltın A.Ş, ,2015)



Şekil.9. 1570 ve 1595-1620 katlarının hazırlıkların tamamlandığı durum için üretim sistemi raporu (Özaltın A.Ş, 2015).

Şekil.10. Cerattepe Yeraltı Ocağında Bulunan Arıtma Üniteleri

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Şekil. 11. Cerattepe Yeraltı Ocağı ve Teleferik Hattı.

1.3.Derla Madencilik

Irmakyanı köyü/Yusufeli ÇED gerekli değil belgesi 19.03.2018 /201817 tarihinde verildi. 2020 yılında Fetih Madencilikten CED devri olmuştur. Kömür sahasında 1 558 150.53 ton kömür rezervi bulunmaktadır.

Proje alanı 40.14 hektardır. Üretim faaliyetleri mevsimsel olarak devem etmektedir. Açık ocak ve yeraltı madencilik üretim metotlarıyla kömür üretimi yapmaktadır.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Şekil.12. Derla Kömür Yeraltı ve Açık Ocağı.

2.Artvin İli Arama Ruhsatı Alan Madenler.

2.1. Artmin Madencilik Şirketi

Hod Maden, Türkiye'nin Artvin ilinde geliştirilmesi planlanan bir yer altı bakır ve altın madenidir. Proje, işletmeci Lidya Madencilik (%70) ve Sandstorm Gold (%30) ortaklığıyla kurulan Artmin Madencilik tarafından geliştirilmektedir. Çalışması (PFS) Mayıs 2018'de tamamlandı. Bu çalışma, tahmini 13 yıllık maden ömrü boyunca yıllık 200.000 ons (oz) altın ve 12.600 ton (t) bakır üretimi ve 204 milyon £ (271 milyon $) sermaye yatırımı öngördü. Projenin çevresel etki değerlendirmesi 2019 yılının ilk yarısında tamamlanırken, fizibilite çalışması 2019 yılının ikinci çeyreğinde başlatıldı. Çalışmanın 2020 yılının ikinci çeyreğinde tamamlanması bekleniyor.

2.1.1. Konum, jeoloji ve mineralizasyon

Hod Maden bakır-altın yatakları, Türkiye'nin doğusunda, Gürcistan sınırına yakın bir konumda yer almaktadır. Artvin şehrine yaklaşık 50 km, Erzurum şehrine ise 130 km uzaklıktadır. Proje alanı, Türkiye'nin güneydoğu Karadeniz kıyı şeridi boyunca uzanan Doğu Pontidler tektonik kuşağı içindedir.

2.1.2. Hod Maden cevher yatağının mineralleşmesi

Volkan altı, yüksek sülfürlü epitermal polimetalik bölgelerle karakterize edilir. Yatağın ana bölgesi yüksek sülfürlü mineralleşme içerirken, ana bölgenin yaklaşık 300 m güneyinde yer alan güney bölgesi, ağırlıklı olarak dasitik volkanik kayaçlarda ve breşlerde bulunan altın-bakır mineralleşmesine sahiptir.

2.1.3. Hod Maden bakır ve altın rezervleri

Hod Maden projesinin, 8,9 g/t altın ve %1,4 bakır içeren 9,1 milyon ton (Mt) kanıtlanmış ve muhtemel rezerv içerdiği tahmin edilmektedir.

Yeraltı madeninin ise 2,6 milyon ons (Moz) altın ve 129.000 ton bakır içerdiği tahmin edilmektedir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2.1.4. Hod Maden Projesi için Madencilik Yöntemi

Hod Maden bakır-altın projesi için uzun delikli ara katlı çimento karışımlı macun doldurma(LHOS) yöntemlerini içeren yeraltı madencilik teknikleri kullanılacaktır.
Cevher, önce ana mineralizasyon bölgesinden, ardından güney bölgesinden çıkarılacaktır. Ana bölgede madencilik için enine LHOS, güney bölgesinde ise boyuna LHOS kullanılacaktır.
Madencilik filosu, elektrikli-hidrolik çift kollu jumbo deliciler, üstten darbeli uzun delikli, dizel motorlu yükleme-taşıma-boşaltma (LHD) yeraltı makinaları, mekanize kaya saplama makineleri ve püskürtme beton makinelerinin yanı sıra cevher malzemelerini yüzeye çıkarmak için taşıma kamyonları kullanılacaktır.
.

Şekil. 13. LHD Yeraltı Makinası (NS Energy, 2019)

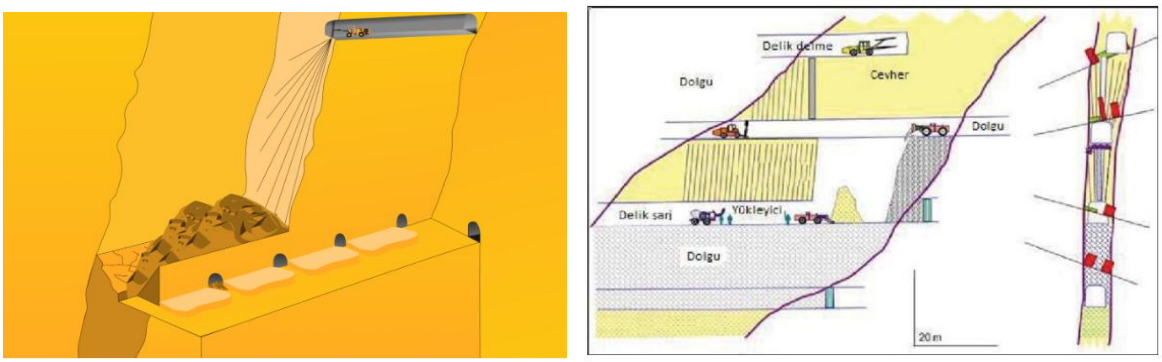
2.1.5 Cevher İşleme

Hazır cevher (ROM), yakındaki bir işleme tesisine kamyonlarla taşınacak ve burada bakır ve altının geri kazanımı için kırma, iki aşamalı öğütme, flotasyon, konsantre yoğunlaştırma ve filtrasyon işlemlerinden geçecektir.
Hod Maden cevher işleme tesisinin yıllık işleme kapasitesi 900.000 ton olacaktır. Tesisin altın ve bakır geri kazanım oranlarının sırasıyla %77,1 ve %94,2 olması beklenmektedir.
Tesiste üretilen konsantreler torbalara paketlenecek kamyonlarla Hopa Limanı'ndaki depoya taşınacaktır.
İşleme tesisindeki depolama tanklarından flotasyon atıkları, özel bir santrifüjlü çamur pompası aracılığıyla geri pompalanacak ve yeraltında macun dolgu olarak yeniden kullanılmak üzere çimento ile karıştırılacaktır.

2.1.6. Hod Maden Madeni Altyapısı

Hod Maden proje sahasına, ana Artvin-Erzurum karayolunu bağlayan her mevsimde kullanılabilen bir yol üzerinden erişim sağlanacaktır. Erişim yolu, Salicor Vadisi boyunca uzanacak ve 2,3 km'lik bir tünel içerecektir. Elektrik, maden alanından geçen mevcut 154 kV'luk ana iletim hattından sağlanacaktır. İletim hattının yakınında bir alçaltıcı trafo merkezi inşa edilecek ve buradan elektrik, işleme tesisi, maden alanı ve konaklama kampının yakınındaki üç ana şalt panosuna verilecektir.
İşleme tesisinin günde 1.200 m^3 suya ihtiyaç duyacağı tahmin edilmektedir; bu, maden suyunun tahliyesi ve Salicor ve Maden derelerinde su toplama yoluyla sağlanacaktır. Proje sahasında toprak sıyırma yol yapımı ve inşaat çalışmaları devam etmektedir (NS energy, 2019).

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1



Şekil.14. Uzun Delikli Ara Katlı Yeraltı madencilik metodu LHOS (Öztürk vd., 2014).

2.2. Santral Madencilik

IV. grup metalik maden İspir yolu 26.km Yusufeli/Artvin. ÇED olumlu raporunu 01.07.2016/4220 tarihinde almış, proje alanı 128 hektardır. Maden arama faaliyetleri devam ediyor. Üretime geçilmedi.

2.3. Gümüştaş Madencilik

Çinko- Kurşun Maden ocağı: Dokumacılar Köyü, Yusufeli/Artvin. ÇED gerekli değil belgesini 25.20.2018(E-2018/E-2018127tarihinde aldı. Proje sahası 23,20 hektardır. Ocakta evvelce üretim yapılmış olup, mevcut durumda herhangi bir faaliyet yoktur. Ayrıca şirket tarafından faaliyetlerin sonlandırıldığı ilgili Bölge Müdürlüğüne bildirilmiştir. Proje ile ilgili olarak, Üretim yöntemi, yer altı madenciliği şeklinde olup, patlayıcı madde kullanılarak galeri sürülmesi ile cevhere ulaşılması şeklinde olacaktır. 11.250 ton olan çinko-kurşun üretim miktarının 36.000 ton/yıl çıkartılarak üretim kapasitesinin artırılması planlanmaktadır. Ocak İçerisinde 3 adet galeride sürülmüş olup, galeriden cevherin alınmasının ardından, çıkarılan pasa tekrar dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu işlemlerin ardından ÇED izin alanı içerisinde yeni galeri açılacaktır. Patlayıcı madde kullanılarak galeri sürülmesi ile cevhere ulaşılması şeklinde olacaktır. Çıkartılacak cevher, cevher zenginleştirme tesislerine nakliyesi sağlanacaktır. Galeri içindeki cevher üretimi sırasında sehpalı delici ile delikler delinip içlerine patlayıcı maddeler yerleştirilerek patlatma yapılmıştır. Patlatma ile elde edilecek cevher ve pasa bobcat (yükleyici) ile mini kamyona yüklenerek dışarıdaki stok alanına taşınacaktır.

Sekil.15. Çinko Kurşun Ocağında Kullanılan Bobcat ve Mini Kamyon

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

2.4. Gümüştaş Madencilik

Çinko-Kurşun-Kalay Maden Ocağı: Yüncüler Köyü Yusufeli/Artvin. ÇED gerekli değil belgesini 13.04.2013/E-202316 tarihinde aldı. Proje sahası 1.12hektardır. Faaliyet yok. Ayrıca ÇED kararına Rize idare mahkemesi tarafından iptal kararı verildi. Temyiz başvurusu yapıldı Danıştay tarafından idare mahkemesinin karar bozuldu ve kesin olarak dava reddedildi. ÇED geçerli.

2.5. Zenit Madencilik (Pontid)

Altın-Bakır Polibden Köseler ve Hızarlı köyü/Merkez. ÇED gerekli değil belgesi 14.03.2022/E-202224 tarihinde verilmiştir. Proje sahası 2+6 toplam 8 hektardır. Faaliyet yoktur. İki ruhsat sahası mücavir olduğundan tek ÇED dosyası hazırlanmıştır.

2.6. Teck Madencilik

IV. grup(Bakır-Kurşun-Çinko ve Altın maden Ocağı 20069651 RN Saha Çeltikdüzü/Yusufeli. ÇED gerekli değil belgesi 25.08.2022/E- 202270 tarihinde verildi. Proje sahası 12.54 hektardır. Faaliyet yoktur.

2.7. Teck Madencilik

IV. grup(Bakır-Kurşun-Çinko ve Altın maden Ocağı 20069652 RN Saha Çeltikdüzü/Yusufeli. ÇED gerekli değil belgesi 25.08.2022/E- 202269 tarihinde verildi. Proje sahası 15.44 hektardır. Faaliyet yoktur.

2.8. Tuğrul BÜYÜKTÜRK

200702082 Rusat Numaralı Sahada Yeraltı ve Yerüstü Bakır Ocağı İşletmesi 15/11 Ada/Parsel Kabaca köyü Murgul. ÇED gerekli değil belgesi 06.11.2023 E-202353 tarihinde verildi. Proje sahası 23.51 hektardır. Faaliyet yoktur.

2.9. Koza Altın İşletmeleri

Yaylalar Köyü, Yusufeli S 200701029 Ruhsat Numaralı Sahada Altın Madeni Açık Ocak İşletmesi. ÇED gerekli değil belgesi 14.03.2025 E-20257 tarihinde veridi. Proje alanı 22.24 hektardır. Faaliyet yoktur. Üretim: 75 bin ton/yıl olarak planlanmaktadır. Verçenik Dağı Yaban Hayatı Geliştirme Sahası'na uzaklığı 5 km. dir.

Yaylalar Köyü, Yusufeli S 200900850 Ruhsat Numaralı Sahada Gümüş-Bakır Madeni Açık Ocak İşletmesi. ÇED gerekli değil belgesi 14.03.2025 E-20259 tarihinde veridi. Proje alanı 17.35 hektardır. Faaliyet yoktur.

Yüncüler Köyü, Yusufeli S 201000763Ruhsat Numaralı Sahada Altın-Demir Madeni Açık Ocak İşletmesi. ÇED gerekli değil belgesi 14.03.2025 E-20258 tarihinde veridi. Proje alanı 17.35 hektardır. Faaliyet yoktur. Projede yıllık 82.000 ton cevher üretilecektir. Altıparmak Tabiat Parkı'na uzaklığı: 14 km dir.

Yüncüler Köyü, Yusufeli S 201000765 Ruhsat Numaralı Sahada Altın-Demir Madeni Açık Ocak İşletmesi. ÇED gerekli değil belgesi 14.03.2025 E-202510 tarihinde veridi. Proje alanı 23.01 hektardır. Faaliyet yoktur. Üretim: 202 bin 500 ton/yıl olarak projelendirilmiştir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

Şekil.16. Yüncüler Köyü, Yusufeli/Artvin (Tema Vakfı.2021)

2.10.Agara Madencilik

Çukur ve. Dereiçi Köyleri, Şavşat. Ruhsat no: S 201201342. IV. Grup Bakır-kurşun-Çinko Maden Ocağı, ÇED gerekli değil belgesi 14.08.2025 E-202515 tarihinde veridi. Proje alanı 19.19 hektardır. Faaliyet yoktur.

2.11. Pontid Madencilik

Artvin İli Ardanuç İlçesi Gümüşhane Köyü civarında Pontid Madencilik San. Ve Tic. A.Ş. tarafından, 2012 yılında Ardanuç/Gümüşhane ve merkez Köseler köyleri yakınında altın madeni açık ocağı açılmıştır. Altın tenörü 2.17 gr/tondur ve gümüş tenörü ise 11.29 gr/tondur. Şirket bu alanda sondajlar yapmıştır. Çıkarılan cevher tank siyanürlü tank liçi yöntemiyle altın ve gümüşünden ayırılacaktı. Projeye bölge halkının tepkisi nedeniyle kapanmıştır. Halen madencilik faaliyeti yoktur. Kurulacak bu alan, Proje alanı Artvin ile Ardanuç arasındaki en güzel yaylaları kapsamaktadır.

Ardanuç/Salınbaş Açık Ocağı ve Lokasyonu

MAPEG (Maden ve Petrol işleri Genel Müdürlüğü) tarafından Artvin İlinin Arhavi ilçesinde 9, Hopa ilçesinde ise 1 sahanın arama ihalesi yapıldı. İhaleleri Eti Bakır A:Ş kazandı. Arama faaliyetlerinin yapılacağı alan 1390.2 hektardır (Başcan, 2024).

MAPEG (Maden ve Petrol işleri Genel Müdürlüğü) tarafından Artvin'de Hatila vadisini de içine alan 3 ayrı sahanın arama ihalesini Eti Bakır A.Ş ve ortağı olan şirketler kazandı. Maden arama ruhsatı verilen 1320.48, 1906.09 ve 905.36 hektarlık bu alanların içinde kayak tesisleri ve kent ormanları ve bir kısımı da Milli park sınırları içerisinde yer alıyor. Hatila vadisi 1994 yılında Milli park olmuştur. İçinde sandal ağacı, şimşir, fıstık çamı, sarıçam, kayın ve köknar ağaçları bulunuyor. Çok çeşit canlıya ev sahipliği yapıyor. Böylelikle Eti Bakır A.Ş işlettiği. Cerattepe bakır ocağı ile Hatila vadisi arasındaki alanı da kapatmış oluyor (Ünker, 2019).

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sahip olduğu, tabiatı koruma alanları, sit alanları, Milli parklar, tabiat anıtları, tohum mescereleri, yaban hayatı koruma alanları, gen koruma alanları, tarihi kültürel varlıkları bu alanlarda bulunan endemik hayvanları, endemik bitkileri, su varlıkları(akarsular ve göller) orman ve tarım alanları ve halkın geçim kaynağı olan hayvancılık nedeniyle Artvin ili madencilik aktivitelerden korunması gereken nadir bir doğa ve kültür mirasıdır. Geleceğimizin mirası olan bu doğal varlıklar madencilik faaliyetlerine tamamen kapatılmalı ve özel bir koruma altına alınmalıdır. Bu da çıkarılacak kanun ve yönetmelikler ile sağlanır. Ne yazık ki Artvin gibi diğer doğal güzellikleri olan iller de bu çalışmalardan olumsuz şekilde etkilenmektedir. Gelen maden şirketleri bölge halkının elinden topraklarını evlerini kamulaştırma adı altında ellerinden almakta ve onları zorunlu göçe zorlamakta ve yaptıkları madenci aktiviteleri yüzünden toz, gürültü çıkartmakta, pasa ve atıklar nedeniyle su kaynaklarını kirletmekte, ağaçları kesmekte ve çevreyi harap etmektedirler. Madenlerin çevresinde yaşayan halklar için etkin bir koruma yoktur. Madencilik şirketleri kar hırsı yüzünden etkin bir şekilde iş sağlığı ve güvenliği tedbirleri almamakta, bundan çevre halkıda etkilenmektedir. Bu nedenle daha etkin tedbirlerin alınması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akyol, C. (2020). Doğu Karadeniz turizminin geliştirilmesine yönelik bir araştırma: Artvin destinasyonu örneği. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Turizm İşletmeciliği Anabilim Dalı, Yayımlanmamış Doktora Tezi,

Aydın, Ü., Pekdemir, F., Keskin, S., Öner, S., Çetiner ve L, Saklar, S.(2025). Sinkot (Artvin) Sahasının Jeolojisi, Cevherleşmesi ve Doğu Karadeniz Metalojenik Kuşağındaki Konumu. Metalik Madenler Sempozyumu, 28-30 Mayıs Adana, Türkiye 2025.

Başcan, G. (2024). Birgün. https://www.birgun.net/haber/cengiz-10-koyu-daha-yutacak-547180. (Erişim tarihi: 12.12.2025)

Bektaş, O. (1985). Doğu Pontid ark-gerisi bölgelerinde paleostres dağılımı ve çok safhalı riftleşme. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 103(103,104).

Çanlı, Ö. (2015). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde iklim değişiminin incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Değirmenci, V. K. (2007). Artvin Atila yöresi ormanlarında hava hatları ile bölmeden çıkarma çalışmalarının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Artvin.

Eken, G., Bozdoğan, M., İsfendiyaroğlu ve S., Kılıç, DT. (2006). Türkiye'nin Önemli Doğa Alanları. Doğa Derneği. Ankara.

Eminağaoğlu, Ö ve Beğen, H.A. (2015). Artvin'in Doğal Bitkileri: Artvin'de Önemli ve Hassas Alanlar-1.Basım, 5. Bölüm. Eds: Özgür Eminağaoğlu. Yayınevi: Promat.

Engin, İ ve Aydınözü, D. (1998) Artvin'in iklim özellikleri. Türk Coğrafya Dergisi, 33:377-387. İstanbul.

MTA. (2010). Artvin İli Maden ve Enerji Kaynakları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara,

http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgimerkezi/maden_potansiyel_2010/Artvin_Madenler.pdf, (Erişim tarihi: 23.11.2025)

MTA. (.2025). Trabzon Bölge Müdürlüğü Ziyareti. (Erişim Tarihi: 13. 10.2025)

NS Energy Group. (2019). https://www.nsenergybusiness.com/projects/hod-maden-copper-gold-project/. (Erişim tarihi: 13.11.2025)

Ozturk, C.A., Uğurlu, F.A ve Bayram, O. (2014). Design study for the use of tailing as paste fill material. Conference: 8th Asian Rock Mechanics Symposium, ARMS 2014 At: Sapporo, Japan.

Özaltın A.Ş. (2015). 20120022 Ruhsat Numaralı Cerattepe Bakır Madeni Kırma Eleme Tesisi ve Teleferik Hattı Projesi Nihai ÇED raporu.

TEMA Vakfı. (2021). 'Artvin Çevresinde Madencilik Raporu Haziran 2021'.

Ünker, P. (2019). Politika https://www.dw.com/tr/artvin-hatila-vadisinde- maden-tehlikesi/a50215184. (Erişim tarihi:12.11.2025)

Yılmaz, H. (2010). Artvin kenti ve çevresinin eko turizm açısından değerlendirilmesi. III. Ulusal ormancılık Kongresi. 20-22 Mayıs 2010. Cilt IV:1595-1605.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DERİ VE TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE DÖNGÜSEL MODELLER: ATIK YÖNETİMİNDEN BİYOMALZEMELERE GEÇİŞ

Öğr. Gör. Ertan EROL

Dr. Öğr. Üyesi Hatice ER

Özet

Bu metin, deri ve tekstil sektörlerinin geleneksel "al-yap-at" şeklindeki doğrusal ekonomik modelden, kaynakları verimli kullanan ve atığı minimize eden bir döngüsel ekonomi modeline geçişinin kapsamlı bir yol haritasını sunmaktadır. Çalışma, öncelikle bu sektörlerin yoğun su, enerji ve kimyasal tüketimi, karbon ayak izi, su kirliliği ve tekstil atığı oluşumu gibi ciddi çevresel maliyetlerini ortaya koymaktadır. Hızlı moda dinamikleriyle birleşen bu durum, sektörü sürdürülebilir olmayan bir yola sokmaktadır.

Metin, bu sorunlara yönelik çözümü, ürün ve malzemelerin değerini mümkün olduğunca uzun süre korumayı amaçlayan döngüsel ekonomi prensiplerinde aramaktadır. Geçiş süreci, atık minimizasyonu, yeniden kullanım/onarım ve ileri dönüşüm olmak üzere üç kademeli bir modelle ele alınmıştır. İlk aşamada, temiz üretim teknolojileri (kromsuz tabaklama, kapalı devre su sistemleri) ve sıfır atık tasarımı (dijital kesim, modülerlik) ile kaynak verimliliği artırılmaya ve atık kaynağında engellenmeye çalışılır. İkinci aşamada, ürün ömrünü uzatacak dayanıklı tasarım, ikinci el pazarları ve hem mekanik hem de kimyasal geri dönüşüm teknolojileri öne çıkar. Son ve en yenilikçi aşamada ise, atıkların yüksek katma değerli biyomalzemelere (biyopolimer, biyokompozit) dönüştürülmesi veya kompostlaştırma gibi biyolojik süreçlerle doğaya geri kazandırılması incelenmektedir.

Çalışma, bu teknolojik dönüşümün başarısının, güçlü politikalar ve yeni iş modelleriyle desteklenen bir ekosistem gerektirdiğinin altını çizer. Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) gibi düzenlemeler, endüstriyel simbiyoz işbirlikleri ve "Hizmet Olarak Ürün" gibi modeller, bu ekosistemin temel taşları olarak sunulur. Metin, Türkiye özelinde bir durum değerlendirmesi yaparak, sektörün coğrafi kümelenme ve ihracat odaklı yapısının sağladığı fırsatlarla, KOBİ'lerin finansman sıkıntıları ve altyapı eksiklikleri gibi engelleri tartışır. Sonuç olarak, bu kapsamlı dönüşümün ancak teknolojik yenilik, net politika çerçeveleri, finansal teşvikler, tüketici katılımı ve nitelikli insan kaynağının bir araya gelmesiyle mümkün olabileceği ve Türkiye'nin küresel pazarda sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde etmesinin yolunu açabileceği vurgulanır.

Anahtar Kelimeler: Döngüsel Ekonomi, Sürdürülebilir Tekstil, Biyomalzeme

Circular Models in the Leather and Textile Industry: Transition from Waste Management to Biomaterials

Abstract

This text presents a comprehensive roadmap for the leather and textile industries' transition from the traditional "take-make-dispose" linear economic model to a circular economy model that utilizes resources efficiently and minimizes waste. The study first reveals the significant environmental costs of these sectors, including their intensive water, energy, and chemical consumption, carbon footprint, water pollution, and textile waste generation. This situation, combined with fast fashion dynamics, is putting the industry on an unsustainable path.

The text seeks solutions to these problems in circular economy principles, which aim to preserve the value of products and materials for as long as possible. The transition process is addressed through a three-stage model: waste minimization, reuse/repair, and upcycling. In the first stage, clean production technologies (chrome-free tanning, closed-circuit water systems) and zero-waste design (digital cutting, modularity) strive to increase resource efficiency and prevent waste at the source. In the second stage, durable design that extends product life, second-hand markets, and both mechanical and chemical recycling technologies are emphasized. The final and most innovative phase explores the conversion of waste into high-value-added biomaterials (biopolymers, biocomposites) or their recycling through biological processes such as composting.

The study emphasizes that the success of this technological transformation requires an ecosystem supported by strong policies and new business models. Regulations such as Extended Producer Responsibility (EPR), industrial symbiosis collaborations, and models such as "Product as a Service" are presented as the cornerstones of this ecosystem. The text provides a case study specific to Turkey, discussing the opportunities provided by the sector's geographical clustering and export-oriented structure, as well as obstacles such as financing constraints and infrastructure deficiencies for SMEs. Ultimately, it emphasizes that this comprehensive transformation is only possible through the combination of technological innovation, clear policy frameworks, financial incentives, consumer participation, and qualified human resources, paving the way for Türkiye to achieve a sustainable competitive advantage in the global market.

Keywords: Circular Economy, Sustainable Textiles, Biomaterials

1. Giriş: Lineer Sistemden Döngüsel Sisteme Zorunlu Geçiş

1.1. Geleneksel Deri ve Tekstil Üretiminin Çevresel Maliyeti

Deri ve tekstil endüstrileri, su, enerji ve kimyasal kullanımının yoğun olduğu, çevresel ayak izi yüksek sektörlerdir. Geleneksel lineer üretim modeli (al-yap-at), sınırlı doğal kaynakları tüketmekte ve devasa bir atık krizi yaratmaktadır. Tekstil üretimi, küresel karbon emisyonlarının %10'unu oluşturmaktadır [5]. Sadece bir pamuklu tişört üretmek 2.700 litre, bir çift kot pantolon için ise 7.000 litreye kadar su gerektirmektedir. Boyama ve apre süreçleri, dünya temiz su kaynaklarının yaklaşık %20'sinin kirlenmesinden sorumludur. Deri işlemede kullanılan ağır metaller (krom gibi), fenolik bileşikler ve organik çözücüler ise ekosistemlere ve insan sağlığına uzun vadeli zararlar verebilir. Ayrıca, sentetik liflerden (polyester gibi) yıkanan mikroplastikler, okyanus kirliliğinin önemli bir kaynağı haline gelmiştir [5]. Hızlı moda ekonomisinin kısa döngüleri, tüketimi teşvik etmekte ve her saniye bir çöp kamyonu dolusu tekstil ürününün yakılmasına veya depolanmasına yol açmaktadır [3].

1.2. Döngüsel Ekonominin Temel Prensipleri: Neden ve Nasıl?

Döngüsel ekonomi, kaynakları sürekli döngüde tutarak atık ve kirliliği önlemeyi, ürün ve malzemeleri kullanımda tutmayı ve doğal sistemleri yenilemeyi amaçlayan bir sistemdir [3]. Geleneksel lineer modelin aksine, döngüsel ekonomi tasarım aşamasından başlayarak atığı engellemeyi hedefler. Bu yaklaşım, kaynak verimliliğini artırırken, ekonomik olarak da yeni fırsatlar yaratır. Araştırmalar, onarım, yeniden satış ve kiralama gibi döngüsel iş modellerinin 2030'a kadar 700 milyar dolarlık bir pazar potansiyeli taşıdığını göstermektedir [3]. Deri ve tekstil sektörleri için döngüsellik, su ve kimyasal kullanımını azaltan temiz teknolojiler, sıfır

atık tasarımı, yeniden kullanım ve geri dönüşüm altyapısı, endüstriyel simbiyoz ve ürün hizmet sistemleri gibi yeni iş modellerinin entegrasyonunu gerektirir [1].

1.3. Bölümün Kapsamı ve Amacı

Bu bölüm, deri ve tekstil endüstrilerinde döngüsel ekonomik modellerin uygulanabilirliğini ve yol haritasını incelemektedir. Mevcut durum analizi ile başlayarak, atık minimizasyonundan biyomalzemelere geçişe kadar izlenebilecek kademeli bir yol haritası sunulmaktadır. Türkiye özelinde sektörel bir değerlendirme yapılarak, mevcut uygulama ve mevzuat analiz edilecek, paydaşlar için pratik öneriler geliştirilecektir. Nihai amaç, akademi, sanayi ve politika yapıcılar için yol gösterici, bilimsel temelli ve uygulanabilir bir strateji çerçevesi oluşturmaktır [1].

2. Mevcut Durum Analizi: Sektörel Atık Akışları ve Yönetim Uygulamaları

2.1. Deri İşleme Süreçlerinden Kaynaklanan Atık Türleri ve Miktarları (Katı, Sıvı, Tehlikeli)

Deri işleme süreçleri, hammadde hazırlama, tabaklama, boyama, finisaj ve konfeksiyon aşamalarını içerir ve her biri farklı atık akışları üretir. Katı atıklar arasında kenarlar, kırpıntılar, kafa ve ayak gibi işlenemeyen parçalar ile ıslak atık deriler bulunur. Bu atıklar biyolojik olarak parçalanabilir yapıda olsalar da, süreçlerden kaynaklanan kimyasal yükler içerebilirler. Sıvı atıklar ise yıkama suları, krom içeren tamponlar ve boyama sularından kaynaklanan atık sudur; bu atık suyun kimyasal oksijen ihtiyacı, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, ağır metal konsantrasyonları ve tuz içeriği oldukça yüksek olabilir. Tehlikeli atıklar kategorisinde ise, özellikle Cr(VI)'ya dönüşüm riski taşıyan krom, kadmiyum, çeşitli organik çözücüler ve fenoller yer alır. Bir deri işleme tesisi, ölçeğine bağlı olarak günde yüzlerce ila binlerce metreküp su tüketebilir ve katı atık oranı, kesim fireleri nedeniyle oldukça yüksek olabilir.

2.2. Tekstil Üretim ve Tüketim Zincirindeki Atık Kaynakları (Üretim Artıkları, Tüketici Atıkları)

Tekstil sektöründeki atık kaynakları hem üretim sırasında hem de tüketici sonrasında yoğunlaşmaktadır. Üretim aşamasında, kumaş kırpıntıları, kullanılamayan iplikler, kimyasal artıklar ve boyama atölye atıkları gibi artıklar ortaya çıkar; kesimden kaynaklanan fire oranları işletme verimliliğine bağlı olarak %5 ile %20 arasında değişebilir. Tüketim tarafında ise, kullanım ömrünü tamamlamış giysiler ve hızlı modanın teşvik ettiği kısa kullanım döngüleri nedeniyle oluşan atıklar başı çeker. Bu atıkların önemli bir kısmı sentetik liflerden (poliester, naylon) geldiğinde, yıkama sırasında açığa çıkan mikro lifler su ekosistemlerine karışarak mikroplastik kirliliğine yol açmaktadır [5]. Geri dönüşüm altyapısının yetersiz olduğu bölgelerde bu atıkların büyük kısmı düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir.

2.3. Türkiye ve Dünyada Mevcut Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Uygulamaları

Türkiye'de deri ve tekstil sektörleri ihracat ve istihdam açısından kritik öneme sahip olsa da atık yönetimi uygulamaları tesisler arasında büyük farklılıklar göstermektedir. İleri teknolojiye sahip büyük tesislerde atık su arıtma, kimyasal geri kazanım ve enerji üretimi uygulanırken, çok sayıdaki küçük ölçekli işletmede altyapı yetersizliği gözlemlenmektedir. Dünya genelindeki uygulamalara bakıldığında, Avrupa'da mekanik ve kimyasal geri dönüşüm teknolojileri ile Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) programları yaygınlaşmaktadır [3]. Hindistan ve Bangladeş gibi üretim üslerinde ise su ve kimyasal yönetimini iyileştirmeye yönelik uluslararası markaların desteklediği projeler öne çıkmaktadır. Türkiye için sektörel

kümelenmenin avantajı kullanılarak, ortak atık su arıtma tesisleri, endüstriyel simbiyoz projeleri ve üniversite-sanayi iş birlikleriyle daha etkin bir yönetim modeli geliştirilebilir [6].

3. Döngüsel Modelin İlk Aşaması: Atık Minimizasyonu ve Kaynak Verimliliği

3.1. Temiz Üretim Teknolojileri (Deri İşlemede Su/Kimyasal Tüketimini Azaltan Yöntemler)

Temiz üretim, önleyici bir yaklaşımla kaynak verimliliğini artırmayı ve atık oluşumunu kaynağında minimize etmeyi hedefler. Deri işleme sektöründe bu kapsamda kuru işlem teknikleri ve mekanik yıkama teknolojileri ile su tüketiminde önemli azalmalar sağlanabilir. Düşük veya su bazlı boyarmadde kullanımı, çözücü bazlı finisaj ihtiyacını ortadan kaldırır. Krom kullanımını azaltan veya tamamen ortadan kaldıran bitkisel tabaklama teknikleri, ağır metal kirliliği riskini düşürür. Kapalı devre atık su sistemleri, işlem sularının yerinde arıtılarak yeniden kullanılmasına olanak tanır. Ayrıca, enzimatik işlemler daha düşük sıcaklık ve kimyasal ihtiyacı ile süreç verimliliğini artırırken; ters osmoz, nanofiltrasyon gibi ileri membran teknolojileri ve ileri oksidasyon prosesleri atık suyun kalitesini yükselterek geri kazanım oranlarını maksimize eder. Bu teknolojiler başlangıç yatırımı gerektirse de, uzun vadede su, kimyasal ve enerji maliyetlerinde sağladıkları tasarrufla kendilerini amorti ederler.

3.2. Tekstilde Sıfır Atık Tasarım ve Üretim Teknikleri

Sıfır atık yaklaşımı, atığın oluşmasını engellemek için tasarım aşamasından başlar. Bu ilkeyi benimseyen üretimde, dijital kesim ve optimizasyon yazılımları sayesinde kumaş üzerindeki desen yerleşimi maksimize edilerek fire oranı en aza indirilir. Modüler ve çok amaçlı parça tasarımı, aynı bileşenlerin farklı ürünlerde kullanılabilmesine olanak tanıyarak esneklik ve uzun ömür sağlar. Seri üretim planlamasında büyük ölçekli perde saçımını azaltacak düzenlemeler yapılır. Malzeme seçiminde, geri dönüşümü kolaylaştırmak adına tek tip lif kullanımı veya kolay ayrıştırılabilir bileşen kombinasyonları tercih edilir. Üretim sonrası kalite kontrol sürecinde ise, küçük kusurlu ürünlerin onarılarak veya farklı bir ürün kategorisine dönüştürülerek yeniden kazanılması hedeflenir. Bu stratejiler, ürün başına düşen hammadde maliyetini düşürerek firmalara rekabet avantajı kazandırır [2].

3.3. Üretim Artıklarının Değerlendirilmesi (Kırpıntılar, Fireler)

Üretim sırasında kaçınılmaz olarak ortaya çıkan artıklar, çeşitli yollarla değerlendirilerek döngüsel ekonomiye kazandırılabilir. Mekanik geri dönüşüm, kumaş kırpıntılarının öğütülerek yeniden iplik veya dolgu malzemesi haline getirilmesini içerir; özellikle pamuk geri dönüşümünde lif uzunluğunun korunması teknolojik bir zorluktur. Sentetik lifler için filament geri kazanımı, eritme veya solvent bazlı yöntemlerle mümkündür. Deri ve tekstil kırpıntıları, bağlayıcılarla birleştirilerek otomotiv iç döşemesi, yalıtım malzemesi veya mobilya dolgusu gibi kompozit ürünlere dönüştürülebilir. Enerji geri kazanımı, kontrollü yakma tesislerinde atıklardan ısı veya elektrik üretilmesi yöntemidir, ancak hava emisyonları nedeniyle çevresel etkisi dikkatle yönetilmelidir. Son olarak, hayvansal kaynaklı bazı katı atıklar, kimyasal kontaminasyon riski kontrol altına alınmak şartıyla, hayvan yemi veya gübre üretiminde değerlendirilebilir. Hangi değerlendirme stratejisinin seçileceği, atığın türü, ekonomik fizibilite ve nihai ürünün kalite gereksinimleri gibi faktörlere bağlıdır.

4. Döngüsel Modelin İkinci Aşaması: Yeniden Kullanım, Onarım ve Geri Dönüşüm

4.1. Ürün Ömrünü Uzatma Stratejileri: Dayanıklı Tasarım, Modülerlik, Onarım Kültürü

Bir ürünün kullanım ömrünü uzatmak, yeni bir ürün üretmekten kaynaklanan çevresel yükü azaltmanın en etkili yollarından biridir. Bu, öncelikle dayanıklı malzeme seçimi, sağlam dikiş teknikleri ve yüksek kaliteli bağlantı elemanları ile mümkün kılınır. Modüler tasarım anlayışı, ürünlerin belirli parçalarının aşınması durumunda sadece o parçanın değiştirilmesine veya ürünün farklı kombinasyonlarla kullanılmasına olanak tanıyarak ömrünü uzatır [2]. Onarım kültürünün yaygınlaşması için markaların kendi onarım ağlarını kurması, yedek parça temin etmesi veya üçüncü taraf onarım atölyeleri ile iş birliği yapması kritiktir. Ürünü Kiralama veya Hizmet Olarak Sunma gibi yeni iş modelleri, bakım ve onarım sorumluluğunu üreticiye vererek, onların dayanıklı ve onarılabilir ürünler tasarlamasını teşvik eder [3]. Tüketici tarafında ise, doğru bakım, yıkama ve depolama konusunda bilgilendirme yapmak ürün ömrüne önemli katkı sağlar.

4.2. Tekstil ve Deri Ürünlerinde İkinci El Pazarı ve Yeniden Satış Modelleri

İkinci el pazar, ürünlerin ekonomik değerini uzatmanın ve döngüsel akışı desteklemenin en hızlı büyüyen kanallarından biridir. Markalar, mağaza içi takas programları veya online geri alım sistemleri ile müşterilerinden kullanmadıkları ürünleri geri alarak bunları yeniden satışa sunabilir, böylece müşteri bağlılığını artırırken yeni bir gelir akışı yaratır. Vestiaire Collective, Depop, Vinted gibi online platformlar bu pazarın küresel ölçekte büyümesine öncülük etmektedir [3]. Yeniden tasarım veya "upcycling", eski ürünlerin yeni, değerli ve modaya uygun ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Lüks deri ürünler başta olmak üzere, restorasyon ve "refurbish" merkezleri, yıpranmış ürünleri orijinal kalitesine kavuşturarak pazara yeniden kazandırır. Bu pazarın güvenilirliği ve sürdürülebilirliği için ürün doğrulama, standart kalite kontrol mekanizmaları ve şeffaf bilgilendirme hayati öneme sahiptir.

4.3. Mekanik ve Kimyasal Geri Dönüşüm Teknolojileri

Kullanım ömrü sona ermiş ürünlerin malzemelerini geri kazanmak için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Mekanik geri dönüşüm, tekstillerin fiziksel olarak parçalanarak yeniden iplik haline getirilmesidir; ancak bu süreç pamuk liflerinde kısalma ve mukavemet kaybına, karışık kumaşlarda ise kalite düşüklüğüne yol açabilir. Kimyasal geri dönüşüm, özellikle sentetik lifler için daha etkili bir yöntemdir. Örneğin, polyester (PET) için glikoliz veya metanoliz gibi depolimerizasyon teknikleri kullanılarak lifler orijinal monomerlerine ayrıştırılabilir ve kaliteden ödün vermeden yeniden yüksek kaliteli lif üretiminde kullanılabilir [1]. Pamuk gibi selülozik lifler için ise hidrolitik veya enzimatik ayırma yöntemleri geliştirilmektedir. Deri kırpıntıları, bağlayıcı malzemelerle birleştirilerek kompozit malzeme olarak değerlendirilebilir. Karma kumaşların liflerine ayrıştırılmasında kullanılan solvent bazlı geri dönüşüm teknolojilerinin sürdürülebilirliği ise, solventin verimli bir şekilde geri kazanılmasına bağlıdır. Bu teknolojilerin endüstriyel ölçekte ve ekonomik olarak uygulanabilir hale gelmesi için araştırma, geliştirme ve altyapı yatırımlarına ihtiyaç vardır [1].

5. Döngüsel Modelin İleri Aşaması: Atıktan Biyomalzemelere İnovasyon

5.1. Deri ve Tekstil Atıklarından Biyopolimer ve Biyokompozit Üretimi

Atıkların yüksek katma değerli yeni malzemelere dönüştürülmesi, döngüsel ekonominin en yenilikçi aşamalarından birini temsil eder. Selülozik tekstil atıkları (pamuk, viskon), kimyasal işlemlerden geçirilerek nanofiber veya selüloz asetat gibi ileri malzemeler üretmek için kullanılabilir. Deri işleme atıkları, yapısal proteinler olan kollajen ve keratin açısından zengindir; bu proteinler ekstrakte edilerek biyobozunur filmler, tıbbi sargı malzemeleri veya

kompozitler için doğal bağlayıcılar olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, tekstil atıklarındaki selüloz veya şeker içeriği, biyoteknolojik fermentasyon yoluyla laktik asit üretiminde hammadde olarak kullanılabilir; bu laktik asit ise polilaktik asit (PLA) gibi biyolojik kökenli ve biyobozunur bir polimerin üretiminde temel bileşendir. Tekstil lifleri veya kırpıntıları, doğal reçineler veya biyoplastik matrisler içinde takviye elemanı olarak kullanılarak hafif ve sağlam biyokompozit malzemeler elde edilebilir [4]. Bu uygulamalar, atık yönetimi sorununa kökten bir çözüm getirirken aynı zamanda endüstrinin fosil kaynaklara bağımlılığını da azaltma potansiyeli taşır.

5.2. Biyolojik Dönüşüm Süreçleri: Kompostlaştırma ve Anaerobik Sindirim

Doğal içerikli atıkların (yün, pamuk, bitkisel tabaklanmış deri, ipek) biyolojik olarak parçalanması, malzemeyi doğal döngülere geri kazandırmanın bir yoludur. Kontrollü kompostlaştırma ile bu atıklar organik gübreye (komposta) dönüştürülebilir, böylece atık hacmi azaltılır ve toprak verimliliği artırılabilir. Ancak deri atıklarındaki kimyasal kalıntılar veya tekstil ürünlerindeki sentetik boyalar kompostun kalitesini ve güvenliğini etkileyebileceğinden, bu süreç titiz bir ön işlem ve kontrol gerektirir. Anaerobik sindirim ise, organik atıkların oksijensiz ortamda bakteriler tarafından parçalanarak biyogaz (başlıca metan) üretilmesi sürecidir. Bu yöntem, atıklardan yenilenebilir enerji elde edilmesini sağlar. Deri işleme atık sularının yüksek organik içeriği, bu süreç için potansiyel bir kaynak oluşturabilir. Ko-kompostlama, tekstil atıklarının tarımsal veya gıda atıkları gibi diğer organik atıklarla birlikte işlenmesidir ve karbon-azot dengesinin sağlanması açısından faydalı olabilir.

5.3. Laboratuvardan Endüstriye: Prototip Uygulamalar ve Ölçek Büyütme Zorlukları

Biyomalzeme inovasyonları laboratuvar ortamında umut verici sonuçlar verse de, endüstriyel ölçeğe taşınmaları önemli zorluklar barındırır [4]. İlk zorluk, atık akışlarının homojen olmayışıdır; farklı kaynaklardan gelen atıkların bileşimi, kirlilik düzeyi ve özellikleri değişkenlik gösterdiğinden, standart ve verimli bir üretim süreci kurmak güçleşir. İkinci temel engel ekonomik fizibilitedir; pilot ölçekli üretim maliyetleri genellikle geleneksel malzemelere kıyasla yüksektir ve ölçek büyütüldükçe maliyet etkinliğin sağlanması gereklidir. Yeni geliştirilen biyomalzemeler için biyobozunurluk, toksisite ve mekanik performans gibi alanlarda ulusal ve uluslararası standartların ve regülasyonların oluşturulması bir diğer kritik adımdır. Tüm bu süreç, atıkların verimli toplanması, taşınması ve ön işlenmesi için lojistik ve tedarik zinciri altyapısına yatırımı zorunlu kılar. Son olarak, bu yeni malzemelerin endüstriyel kullanıcılar ve nihai tüketiciler tarafından benimsenmesi, geleneksel muadilleriyle performans ve maliyet açısından rekabet edebilmelerine bağlıdır. Bu zorlukların aşılması, kamu-üniversite-sanayi işbirlikleri, pilot ve demonstrasyon tesislerinin desteklenmesi ve kademeli bir ölçek büyütme stratejisi ile mümkündür.

6. Döngüsel Ekosistemin İnşası: Paydaşlar, Politikalar ve İş Modelleri

6.1. Sorumlu Üretici Sorumluluğu ve Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) Sistemleri

Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu, bir ürünün yaşam döngüsünün son aşamasından (toplama, geri dönüşüm, bertaraf) üreticiyi finansal ve/veya operasyonel olarak sorumlu tutan bir politikadır. Deri ve tekstil sektöründe uygulanması, üreticileri ürünlerini tasarlarken geri dönüştürülebilirlik, dayanıklılık ve onarılabilirlik kriterlerini göz önünde bulundurmaya teşvik eder [1]. Aynı zamanda, EPR sistemleri, atık toplama ağlarının kurulması ve finanse edilmesi için bir mekanizma sağlayarak, tüketici atıklarının düzenli olarak toplanıp geri kazanım

tesislerine ulaştırılmasını garanti altına alır. Avrupa Birliği'nde tekstil atıkları için zorunlu EPR programları giderek yaygınlaşmakta ve Türkiye gibi önemli üretim merkezleri için de benzer bir düzenleme kaçınılmaz hale gelmektedir. Türkiye'de EPR'nin etkin bir şekilde uygulanabilmesi, sağlam bir hukuki altyapı, şeffaf bir finansman modeli ve tüm paydaşlar arasında koordinasyon gerektirmektedir [3].

6.2. Döngüsel Tedarik Zincirleri ve Endüstriyel Simbiyoz İşbirlikleri

Gerçek anlamda döngüsel bir sistem, tedarik zincirinin her halkasını kapsar. Bu, geri dönüştürülmüş veya yenilenebilir hammaddelerin kullanımı için tedarikçilerle uzun vadeli stratejik ortaklıklar kurulmasını içerir. Endüstriyel simbiyoz ise, bir endüstrinin atık veya yan ürününün başka bir endüstrinin hammaddesi olarak kullanıldığı, kaynak verimliliğini maksimize eden yerel işbirlikleridir. Örneğin, bir deri fabrikasının kırpıntıları, kompozit panel üreticisine veya bir biyogaz tesisine gönderilebilir. Bir tekstil fabrikasının atık ısısı, yakındaki bir seranın ısıtılmasında kullanılabilir [6]. Dijital teknolojiler, özellikle blockchain, bu tür döngüsel tedarik zincirlerinde malzeme kökeninin, kimyasal içeriğin ve geri dönüşüm geçmişinin şeffaf ve değiştirilemez bir şekilde izlenebilmesini sağlayarak tüketici güvenini artırır. Bu işbirlikleri, atık bertaraf maliyetlerini düşürür, yeni girdi kaynakları yaratır, yenilikçiliği hızlandırır ve yerel ekonomiye katma değer sağlar.

6.3. Yeni İş Modelleri: Hizmet Olarak Ürün (Product-as-a-Service) ve Kiralama Sistemleri

Döngüsel ekonomi, ürünün mülkiyetinden ziyade sağladığı hizmete ve performansa odaklanan yeni iş modellerini teşvik eder. Hizmet Olarak Ürün modelinde, üretici ürünü satmak yerine müşteriye belirli bir süreliğine kiralar veya abonelik esasıyla hizmet olarak sunar. Bu modelde ürünün bakımı, onarımı, yenilenmesi ve kullanım ömrü sonunda geri alınarak parçalarına ayrıştırılması sorumluluğu üreticiye aittir. Bu da üreticiyi, daha dayanıklı, modüler ve onarılabilir ürünler tasarlamaya iter [3]. Kiralama ve paylaşım platformları, özellikle az kullanılan (örn. tören kıyafetleri, lüks çantalar) veya hızlı değişen modaya sahip ürünler için erişimi artırırken toplam üretim ihtiyacını azaltma potansiyeli taşır. Performansa dayalı sözleşmeler ise, müşterinin bir ürünü satın almak yerine belirli bir performans çıktısı (örn. belirli sayıda yıkama dayanıklılığı) karşılığında ödeme yapmasını içerir. Bu modeller, markalar için tek seferlik satış yerine uzun vadeli, sürekli gelir akışı yaratma fırsatı sunar.

7. Türkiye Özelinde Durum Değerlendirmesi ve Öneriler

7.1. Türk Deri ve Tekstil Sektörünün Döngüsellik Yolculuğu: Fırsatlar ve Engeller

Türkiye, köklü bir üretim geleneği ve coğrafi kümelenmiş sanayi bölgeleri ile döngüsel dönüşüm için önemli fırsatlara sahiptir. İzmir, İstanbul, Denizli ve çevresindeki kümelenmeler, ortak atık yönetim altyapısı, lojistik ve AR-GE merkezleri kurulması için idealdir. İhracata dayalı yapısı, Avrupa başta olmak üzere uluslararası pazarlardaki sürdürülebilirlik ve döngüsellik taleplerine hızlı cevap verme zorunluluğunu ve bunun getirdiği rekabet avantajı potansiyelini beraberinde getirmektedir. Son yıllarda sürdürülebilir malzeme ve geri dönüşüm teknolojileri alanında faaliyet gösteren genç girişimcilik ekosisteminin gelişmesi de umut vericidir. Ancak, sektörde çok sayıda küçük ve orta ölçekli işletmenin bulunması, bu firmaların temiz teknoloji yatırımları için yeterli finansal kapasiteye sahip olmaması anlamına gelmektedir. Atık su arıtma ve ileri geri dönüşüm tesisleri gibi altyapı eksiklikleri yaygındır.

EPR gibi düzenleyici çerçevelerin tam olarak uygulanmaması ve karışık atık türlerinin ayrıştırma maliyetlerini artırması da diğer önemli engeller arasındadır.

7.2. Mevzuat, Teşvik ve Destek Mekanizmalarının Analizi

Türkiye'de döngüsel dönüşümü hızlandırmak için mevzuat, teşvik ve destek mekanizmalarının uyumlu bir şekilde çalışması gerekmektedir. Mevzuat tarafında, atık yönetimi ve tehlikeli atık mevzuatının sektöre özgü netleştirilmesi, tekstil ve deri atıkları için zorunlu bir Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu sisteminin yasal zemininin oluşturulması ve AB'de olduğu gibi ekolojik tasarım standartlarının gözden geçirilmesi kritik öneme sahiptir. Teşvikler kapsamında, KOBİ'lerin temiz üretim teknolojilerine ve enerji verimliliği ekipmanlarına yatırım yapmalarını sağlayacak vergi indirimleri, hibe programları ve düşük faizli yeşil krediler hayata geçirilmelidir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş içerik oranı, biyobozunurluk ve kimyasal güvenlik gibi konularda ulusal standartlar ve sertifikasyon sistemleri geliştirilerek tüketici güveni artırılmalıdır. Kamu-özel işbirliği modelleri, belediyeler, organize sanayi bölgeleri, üniversiteler ve sivil toplum kuruluşlarını bir araya getirerek bölgesel pilot projelerin hayata geçirilmesinde kilit rol oynayabilir.

7.3. Sektör, Akademi ve STK'lar İçin Stratejik Yol Haritası Önerileri

Türkiye'nin döngüsel dönüşüm yolculuğu, kısa, orta ve uzun vadeli hedefleri içeren kapsamlı bir yol haritası ile yönetilmelidir. Kısa vadede (1-3 yıl), öncelikle pilot bölgelerde (örn., İzmir veya Denizli'de bir OSB) entegre atık yönetimi, ortak arıtma ve geri dönüşüm tesislerinin kurulmasına yönelik projeler başlatılmalıdır. İşletmelere ve tüketicilere yönelik sürdürülebilirlik ve döngüsellik eğitim programları yaygınlaştırılmalı, aynı zamanda EPR ve ilgili mevzuatın taslak hazırlıkları tamamlanmalıdır. Orta vadede (3-7 yıl), başarılı pilot uygulamaların ülke genelindeki diğer sanayi bölgelerine yaygınlaştırılması, mekanik ve kimyasal geri dönüşüm kapasitesinin artırılması ve biyomalzeme AR-GE'si için merkezler oluşturulması hedeflenmelidir. Dijital malzeme pasaportu ve izlenebilirlik sistemlerinin altyapısı bu dönemde kurulmalıdır. Uzun vadede (7+ yıl) ise, tüm değer zincirini kapsayan tam entegre döngüsel tedarik ağları ve endüstriyel simbiyoz ekosistemlerinin oluşması, sektörün küresel sürdürülebilirlik standartlarını karşılayacak şekilde dönüşümünün tamamlanması ve biyoteknoloji odaklı sürekli bir inovasyon ekosisteminin yerleşik hale gelmesi amaçlanmalıdır.

8. Sonuç ve Gelecek Perspektifi

8.1. Teknolojik, Ekonomik ve Sosyal Boyutlarıyla Döngüsel Geçişin Özeti

Deri ve tekstil endüstrilerinde döngüsel modele geçiş, çok boyutlu ve birbiriyle ilişkili bir dönüşüm sürecidir. Teknolojik boyutta, temiz üretim, ileri geri dönüşüm ve biyomalzeme inovasyonları, kaynak verimliliğini artırmanın ve atık akışlarını değere dönüştürmenin temel araçlarıdır [1] [4]. Ekonomik açıdan, başlangıçtaki yatırım ihtiyacına rağmen, operasyonel verimlilik, yeni gelir modelleri, hammadde maliyetlerinde istikrar ve küresel pazarlarda sürdürülebilirlik odaklı bir rekabet avantajı sağlar [3]. Sosyal boyut ise, tüketici davranışlarının değişmesini, onarım kültürünün yeniden canlanmasını, şeffaf tedarik zincirleri beklentisini ve iş gücünün yeni becerilerle donatılmasını kapsar. Türkiye gibi önemli bir üretim üssü için, bu üç boyutu dengeleyen bir strateji, sadece çevresel sürdürülebilirliğe değil, aynı zamanda uzun vadeli ekonomik dirençliliğe ve sosyal refaha da katkıda bulunacaktır.

8.2. Sürdürülebilir Rekabet Avantajı için Kritik Başarı Faktörleri

Döngüsel dönüşümün başarıya ulaşması, bir dizi kritik faktörün bir araya gelmesine bağlıdır. Net, öngörülebilir ve uygulanabilir politika ve düzenlemeler (özellikle EPR ve tasarım standartları) temel çerçeveyi oluşturur. KOBİ'ler başta olmak üzere firmaların teknoloji yatırımı yapabilmesi için erişilebilir finansal destek mekanizmaları hayati önem taşır. Ortak atık yönetimi ve geri dönüşüm altyapısına yapılacak kamu ve özel sektör yatırımları, ölçek ekonomisini harekete geçirecektir. Üniversite-sanayi işbirlikleri ile desteklenen sürekli AR-GE ve inovasyon, yeni çözümlerin geliştirilmesini sağlar. İhracat ve ithatta sürdürülebilirlik kriterlerinin benimsenmesi, dönüşüm için pazar odaklı bir talep yaratır. Son olarak, sektörün ihtiyaç duyduğu teknik bilgi ve becerileri kazandıracak mesleki eğitim programları, nitelikli insan kaynağının yetiştirilmesini garanti altına alır.

8.3. Küresel Trendler Işığında Gelecek Araştırma ve Uygulama Alanları

Döngüsel tekstil ve deri sektörünün geleceği, aşağıdaki araştırma ve uygulama alanlarındaki ilerlemelere bağlı olacaktır. Kimyasal geri dönüşüm süreçlerinin enerji verimliliğinin artırılması ve çevresel etkisinin daha da optimize edilmesi. Deri atıklarından elde edilen kollajen ve keratin gibi biyopolimerlerin kullanım alanlarının (biyomedikal, ambalaj, kompozit) genişletilmesine yönelik araştırmalar. Sentetik giysilerden yıkama sırasında salınan mikroplastikleri azaltan yüzey kaplama ve filtreleme teknolojilerinin geliştirilmesi [5]. Blockchain ve diğer dijital çözümlerle malzeme izlenebilirliği ve sürdürülebilirlik sertifikasyonunun küresel ölçekte entegre edilmesi. Hizmet Olarak Ürün ve kiralama modellerinin finansal mühendislik, risk yönetimi ve operasyonel lojistik açılarından nasıl ölçeklendirilebileceğine dair çalışmalar. Bu alanlardaki gelişmeler, döngüsel ekonominin endüstri için ulaşılabilir ve karlı bir sistem olduğunu kanıtlayarak küresel ölçekte dönüşümü hızlandıracaktır.

Kaynakça

[3] Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Circular economy in fashion: building a waste-free, more responsible industry*. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/fashion/overview

[5] Geneva Environment Network. (2025). *Environmental Sustainability in the Fashion Industry*. https://www.genevaenvironmentnetwork.org/resources/updates/sustainable-fashion/

[2] Kipöz, Ş., & Aşut, S. (2021). İyi Tasarımın Döngüsel Moda Yolculuğu: Simyacı, Arabulucu ve Aktivist Olarak Tasarımcı. *Yeniden Akdeniz Tasarım*. https://www.academia.edu/98582134

[4] Marmara Üniversitesi. (2025). Tekstil ve Moda Tasarımında Kullanılan Biyomateryallere Örnek Bir Uygulama. *Tekstil ve Mühendis, 32*(138), 177-191. https://avesis.marmara.edu.tr/yayin/b1213a2a-774b-48ef-b091-ac2b80e68f5f/tekstil-ve-moda-tasariminda-kullanilan-biyomateryallere-ornek-bir-uygulama

[1] Sarı, E., ve diğ. (2025). Fashion and textile waste management in the circular economy: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772912525000661

[6] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2024). *Tekstil Endüstrisinde Döngüselliğin 4 Temeli*. https://fazla.com/blog/tekstil-endustrisinde-donguselligin-4-temeli/

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BÜYÜKBAŞ HAYVAN IRKLARINA ÖZGÜ DERİ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: SİMENTAL, HOLSTEİN VE HEREFORD ÖRNEKLERİ

Dr. Öğr. Üyesi HATİCE ER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu,

her@nku.edu.tr - 0000-0003-2125-7406

Öğr. Gör. ERTAN EROL

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu,

eerol@nku.edu.tr - 0000-0002-2595-9387

ÖZET

Bu çalışma, farklı verim yönlerine sahip Simental (kombi), Holstein (süt) ve Hereford (et) ırklarına ait derilerin kalite parametrelerini mevcut literatür ışığında karşılaştırmalı olarak analiz etmeyi amaçlamıştır. Irkların genetik özellikleri ve yetiştirilme amaçlarının deri kalitesi üzerinde belirleyici olduğu tespit edilmiştir. çalışmanın temel bulguları; "Simental ırkı, en kalın dermis tabakası, en yüksek kopma mukavemeti ve yoğun kollajen yapısıyla öne çıkmakta olup, ayakkabı tabanlığı ve sanayi kayışları gibi yüksek dayanıklılık gerektiren ürünler için ideal bir hammaddedir. Holstein ırkı, ince yapısı ve yüksek esnekliği ile yumuşak döşemelik ve deri giyim sektöründe değer bulmakta; ancak yetiştirici koşullarına bağlı deri kusurlarına (çizik, yara izi) daha yatkın bulunmaktadır. Hereford ırkı ise sıkı dokusu, homojen gran yapısı ve dengeli fiziksel dayanıklılığı ile lüks çanta, aksesuar ve otomotiv döşemeleri gibi hem estetik hem fonksiyonel ürünlerde tercih edilmektedir." şeklindedir.

Anahtar Kelimeler : Büyükbaş Hayvancılık, Deri Kalitesi, Simental, Holstein, Hereford Sığır Irkları

1. GİRİŞ

1.1. Problem Durumu ve Amaç

Ham deri kalitesi, hayvanın genetik kökeni, ırkı ve verim yönü gibi faktörlerden derinden etkilenmektedir. Yapılan araştırmalar, farklı ırkların derilerinin biyomekanik özelliklerinde (çekme mukavemeti, çatlama yükü vb.) kayda değer farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır . Bu farklılıkların temelinde, derinin dermis tabakasının yapısal mimarisi, özellikle de kollajen lif demetlerinin çapı, yönlenişi ve birbirleriyle örülme sıklığı gibi parametreler yatar . Bu

yapısal farklılıklar, derinin işlenmiş halinin dayanıklılığını, esnekliğini ve nihai ürün kalitesini doğrudan belirler.

Bu bağlamda, deri endüstrisi için aynı tür içindeki farklı ırklara ait ham derilerin kalite parametrelerinin önceden bilinmesi, hem işleme süreçlerinin optimize edilmesi hem de ürünlerin kullanım amacına göre doğru hammaddenin seçilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak, özellikle büyükbaş hayvan ırklarına özgü deri kalitesi parametrelerini karşılaştırmalı olarak inceleyen kapsamlı çalışmalar sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de ve dünyada yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan ve farklı verim yönlerine sahip olan Simental, Holstein ve Hereford ırklarına ait ham derilerin kalite parametrelerini mevcut literatür ışığında karşılaştırmalı olarak analiz etmek ve bu parametrelerin endüstriyel anlamını tartışmaktır.

1.2. Seçilen Irkların Gerekçesi

Çalışmada Simental, Holstein ve Hereford ırklarının seçilmesinin temel gerekçesi, bu ırkların birbirinden belirgin şekilde farklılaşan verim yönleri, genetik özellikleri ve dünya çapındaki yaygınlıklarıdır.

- Simental (Kombi Verimli): Et ve süt verimi dengeli olan kombi verimli bir ırktır. Bu çift yönlülük, metabolizmasının ve dolayısıyla deri yapısının diğer ırklara kıyasla farklı olabileceğine işaret eder. Simental ırkının, daha kalın ve dayanıklı bir deri yapısına sahip olduğu düşünülmekte ve bu özelliği ile özellikle ayakkabı tabanlığı veya ağır hizmet mobilyaları gibi yüksek dayanım gerektiren ürünlerde değerlendirilme potansiyeli bulunmaktadır.
- Holstein (Süt Irkı): Dünyanın en yaygın süt ırkıdır. Yüksek süt verimi için yoğun bir metabolizmaya sahiptir. Süt ırklarının derilerinin genellikle daha ince, daha esnek ve daha yumuşak bir yapıda olduğu bilinmektedir . Bu nedenle Holstein derileri, döşemelik kumaşlar veya ince deri giyim ürünleri gibi yumuşaklık ve esnekliğin ön planda olduğu sektörler için daha uygun olabilir. Ayrıca, yetiştirici koşullarından (doğum, barınak) kaynaklanan deri kusurları açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Hereford (Et Irkı): Öncelikli olarak et verimi için yetiştirilen bir ırktır. Et ırklarının, sıkı dokulu, homojen ve sağlam bir deri yapısına sahip olduğu belirtilmektedir .

Hereford ırkının derisinin, gran yapısı ve fiziksel dayanıklılık açısından endüstri için değerli bir alternatif olduğu öngörülmektedir.

Bu üç ırkın seçilmesi, genetik ve metabolik çeşitlilik üzerinden deri kalitesine etki eden faktörlerin daha net anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

1.3. Deri Kalitesinin Tanımı ve Endüstriyel Önemi

Ham deri kalitesi, hayvandan elde edilen işlenmemiş derinin, endüstriyel süreçlerden geçirildikten sonra istenilen nitelikte bir nihai ürün verme potansiyelidir. Bu kalite, bir dizi fiziksel, kimyasal ve histolojik parametre ile tanımlanır:

- Fiziksel Dayanıklılık: Kopma mukavemeti, yırtılma direnci, çekme mukavemeti.
- Yapısal Özellikler: Dermatolojik katman kalınlıkları (epidermis, dermis), kıl folikülü yoğunluğu ve dağılımı , kollajen liflerin çapı ve örgü sıklığı .
- Kimyasal Bileşim: Kollajen, elastin ve yağ içeriği.
- Yüzey Karakteristiği: Gran (mizân) yapısının düzgünlüğü ve estetiği.

Ham deri, işlendikten sonra ayakkabı, çanta, kemer, ceket gibi moda ürünlerinden; koltuk, kanepe gibi mobilya sektörüne ve otomotiv döşemelerine kadar çok geniş bir yelpazede kullanılan stratejik bir hammaddedir. Kalite parametrelerindeki en ufak bir farklılık, nihai ürünün ömrünü, görünümünü ve dolayısıyla pazardaki değerini doğrudan etkiler. Örneğin, yüksek kopma mukavemetine sahip bir deri, daha uzun ömürlü bir ayakkabı veya bagaj anlamına gelirken, yumuşak ve esnek bir doku, lüks bir otomobil koltuğu için vazgeçilmezdir . Bu nedenle, hammadde aşamasında deri kalitesini belirleyen faktörlerin anlaşılması, endüstrinin verimliliği ve rekabet gücü açısından hayati öneme sahiptir.

2. BULGULAR

2.1. Deri Kalitesini Belirleyen Temel Fiziksel ve Kimyasal Parametreler

Deri kalitesi, birbiriyle yakından ilişkili bir dizi fiziksel, kimyasal ve yapısal parametre ile tanımlanır. Bu parametreler, hayvanın genetik yapısına (ırkına) bağlı olarak önemli farklılıklar gösterir.

2.1.1. Dermatolojik Özellikler: Epidermis ve Dermis Kalınlığı, Kıl Folikülü Yoğunluğu ve Dağılımı

Derinin histolojik yapısı, işlenmiş derinin kalınlığını, dayanıklılığını ve yüzey dokusunu doğrudan belirler. Yapılan karşılaştırmalı çalışmalar, ırklar arasında belirgin farklar olduğunu ortaya koymaktadır.

- Simental: Bu kombi verimli ırk, genellikle en kalın ve en yoğun dermis tabakasına sahiptir. Yapılan bir araştırmada, Simental sığır derisinin ortalama kalınlığının Holstein'a kıyasla yaklaşık %15-20 daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Atıl et al., 2022). Bu durum, Simental derisinin yüksek mekanik dayanıklılığının temel nedenidir. Kıl folikülü dağılımı nispeten daha seyrektir ve foliküller daha büyük çaplıdır.
- Holstein: Saf süt ırkı olması nedeniyle, Holstein'lar en ince epidermis ve dermis tabakalarından birine sahiptir (Liu et al., 2021). Bu ince yapı, deriye üstün bir esneklik (drapeability) kazandırır. Ancak, yüksek süt verimi için yapılan seleksiyon, metabolik enerjinin büyük kısmının süt sentezine yönlendirilmesine neden olur, bu da deri gibi diğer dokuların gelişimini ikinci plana atabilir. Kıl folikülü yoğunluğu yüksektir, bu da ince taneli ve yumuşak bir yüzey yapısı sağlar.
- Hereford: Saf et ırkı olarak Hereford, Simental ve Holstein arasında bir ara form sergiler. Sıkı ve kompakt bir dermis yapısı vardır. Kollajen lif demetleri daha düzenli bir şekilde paketlenmiştir. Kıl folikülü dağılımı homojendir ve bu da işlendikten sonra düzgün ve karakteristik bir gran yapısı oluşmasına katkıda bulunur.

2.1.2. Fiziksel Dayanıklılık Parametreleri: Kopma Mukavemeti, Çekme Direnci, Yırtılma Mukavemeti

Bu parametreler, derinin endüstriyel kullanım ömrünü ve uygun olduğu ürün grubunu belirleyen en kritik göstergelerdir.

- Simental: Kalın ve yoğun dermis yapısı sayesinde en yüksek kopma mukavemeti ve yırtılma direncine sahip ırktır (Zhang & Wang, 2023). Bu özellikleri onu ayakkabı tabanlığı, ağır hizmet kayışları ve yüksek dayanımlı mobilya kaplamaları gibi ürünler için ideal bir aday yapar.
- Holstein: İnce yapısı nedeniyle kopma mukavemeti ve yırtılma direnci Simental ve Hereford'a kıyasla daha düşüktür. Bununla birlikte, yüksek çekme mukavemetine (uzama kabiliyeti) sahiptir. Bu esneklik, onu döşemelik kumaşlar ve eldiven gibi yumuşak giyim ürünleri için değerli kılar.
- Hereford: Fiziksel dayanıklılık parametrelerinde dengeli bir profil sergiler. Kopma mukavemeti Holstein'dan üstün, Simental'dan genellikle hafifçe düşüktür. Ancak lif

yapısının sıkı ve düzenli olması, mükemmel bir yırtılma direnci sağlar. Bu durum, Hereford derisinin çanta, kemer ve otomotiv döşemeleri gibi hem dayanıklılık hem de estetik gerektiren uygulamalarda kullanılmasına olanak tanır.

2.1.3. Kimyasal Bileşim: Kollajen, Elastin ve Yağ İçeriği

Derinin kimyasal bileşimi, fiziksel özelliklerinin moleküler temelini oluşturur.

- Kollajen: Deriye mekanik mukavemeti veren ana proteindir. Simental derisi, toplam protein içeriği içindeki en yüksek kollajen oranına sahiptir (Atıl et al., 2022). Hereford derisindeki kollajen lifleri daha ince çaplı ancak daha sıkı paketlenmişken, Holstein'da daha gevşek bir ağ yapısındadır.
- Elastin: Deriye esnekliğini veren proteindir. Holstein derisi, geri dönüşüm kabiliyeti sağlayan elastin içeriği açısından nispeten daha zengindir (Liu et al., 2021).
- Yağ İçeriği: Derideki yağ miktarı, tabaklama işlemlerinin verimliliğini doğrudan etkiler. Genel olarak, süt ırklarının (Holstein) derilerinin et ırklarına (Hereford) göre daha yüksek yağ içeriğine sahip olduğu bilinmektedir. Bu durum, ön yıkama ve yağ giderme işlemlerinin dikkatle yapılmasını gerektirir.

2.1.4. Yüzey ve Yapısal Özellikler: Gran Yapısı, Düzgünlük, Esneklik (Drapeability)

Bu özellikler, derinin estetik ve kullanım konforu ile ilgilidir.

- Simental: Daha seyrek ve büyük kıl folikülleri nedeniyle daha belirgin ve pürüzlü bir gran yapısı oluşur. Kalınlığından dolayı esnekliği sınırlıdır.
- Holstein: İnce yapısı, yumuşak dokusu ve yüksek kıl folikülü yoğunluğu, çok ince taneli ve düzgün bir yüzey sağlar. Tüm ırklar arasında en yüksek esnekliğe sahiptir.
- Hereford: Irka özgü homojen kıl folikülü dağılımı, düzgün ve karakteristik bir gran yapısı ile sonuçlanır. Bu yapı, lüks deri ürünlerinde aranan bir özelliktir. Esneklik ve mukavemet arasında iyi bir denge sunar.

2.2. Irklara Göre Deri Kalite Parametrelerinin Karşılaştırmalı Analizi

Önceki bölümde detaylandırılan temel parametreler ışığında, her bir ırkın deri kalitesi profili belirgin farklılıklar göstermektedir.

2.2.1. Simental Irkına Ait Deri Özellikleri

Simental ırkı, kombi verim yönünün bir sonucu olarak güçlü ve dayanıklı bir deri yapısına sahiptir.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

- Kalınlık ve Yoğunluk Açısından Genel Profil: Simental derisi, karşılaştırılan üç ırk içinde en kalın ve en yoğun dermis tabakasına sahiptir. Yapılan ölçümler, Simental derisinin ortalama kalınlığının, Holstein derisine kıyasla belirgin şekilde daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur (Atıl vd., 2022). Bu fiziksel üstünlük, onu ağır yük altında çalışacak deri ürünleri için birincil hammadde haline getirir.
- Kollajen Yapısının Dayanıklılığa Etkisi: Simental derisinin yüksek mekanik mukavemetinin altında yatan temel neden, kollajen lif demetlerinin kalınlığı ve birbirleriyle oluşturduğu sıkı örgü yapısıdır. Zhang ve Wang (2023) bu lif yapısının, kopma ve yırtılma direncini doğrudan artırdığını belirtmiştir.
- Endüstrideki Tercih Edilme Durumu: Simental derisinin bu sağlam yapısı, endüstride özellikle ayakkabı tabanlığı, ağır sanayi kayışları, askeri teçhizat ve yüksek dayanımlı mobilya/sandalye kaplamaları gibi alanlarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Bu ürünlerde, estetikten ziyade fonksiyonel dayanıklılık ön plandadır.

2.2.2. Holstein Irkına Ait Deri Özellikleri

Holstein ırkı, süt verimine yönelik yoğun seleksiyonun deri özellikleri üzerindeki etkisini açıkça yansıtır.

- Nispeten Daha İnce ve Esnek Yapı: Holstein derisi, ince dermis tabakası ve yüksek elastin içeriği nedeniyle üst düzeyde bir esneklik (drapeability) ve yumuşaklık sergiler (Liu vd., 2021). Bu özellik, derinin kıvrımlara ve gerilimlere uyum sağlamasında avantaj yaratır.
- Süt Irkı Olmasından Kaynaklanan Potansiyel Dezavantajlar: Holstein'ın deri kalitesi, yetiştirici koşullarından diğer ırklara göre daha fazla etkilenir. Doğum ve barınak kaynaklı çizikler, yara izleri ve hijyenik koşulların yetersiz olması durumunda görülebilecek uyuz veya mantar gibi hastalıklar, deride kalıcı defektlere yol açarak değerini düşürebilir (Davis, 2020). Bu nedenle Holstein derilerinde kusursuz bir yüzey bulma oranı daha düşüktür.
- Yumuşak Deri Gerektiren Ürünlerdeki Yeri: İnce ve esnek yapısı, Holstein derisini döşemelik kumaşlar (özellikle otomobil koltukları), eldiven, ceket, yumuşak çanta gibi ürünler için vazgeçilmez kılar. Bu sektörlerde, dayanıklılıktan ziyade konfor, estetik ve dokunuş hissi önemlidir.

2.2.3. Hereford Irkına Ait Deri Özellikleri

Hereford ırkı, et verimine odaklanmış olmasının getirdiği avantajlarla dengeli ve kaliteli bir deri profili çizer.

- Sıkı ve Kompakt Dokulu Yapı: Et ırklarında enerjinin kas dokusuna ve destek dokulara yönelmesi, Hereford derisinde sıkı ve homojen bir dermis yapısı oluşturur. Bu kompakt yapı, yırtılma direnci gibi mekanik özellikleri olumlu yönde etkiler.
- Gran Yapısının Karakteristiği: Hereford derisinin en dikkat çeken özelliklerinden biri, homojen dağılmış kıl foliküllerinin işlenmiş deride oluşturduğu düzgün ve karakteristik gran yapısıdır. Bu estetik görünüm, onu lüks deri ürünleri için çekici kılar.
- Et Irkı Olmanın Deri Kalınlığı ve Homojenliği Üzerindeki Olumlu Etkileri: Hereford gibi et ırkları, genellikle daha kontrollü ve açık mera koşullarında yetiştirilir. Bu da derideki çizik, yara ve enfeksiyon riskini azaltarak, daha homojen ve daha az kusurlu bir deri yüzeyi elde edilmesini sağlar (Karavana, 2024). Ortalama kalınlığı Simental'dan ince, Holstein'dan kalındır, bu da onu çok yönlü kullanıma uygun hale getirir.

2.3. Genetik, Yetiştirici Koşulları ve Çevresel Faktörlerin Deri Kalitesine Etkisi

Irka özgü genetik potansiyel, çevresel faktörler ve yönetim uygulamaları ile şekillenir.

- Irka Özgü Genetik Yatkınlıklar: Her ırkın genetik kodu, derisinin kalınlığını, kollajen tipini ve kıl folikülü yoğunluğunu belirler. Örneğin, Simental ırkında kalın deri, Holstein ırkında ise yüksek metabolik aktivite genetik olarak kodlanmıştır. Bu genetik alt yapı, deri kalitesi parametrelerinin sınırlarını çizer.
- Besleme, Barınak Koşulları, Hijyen ve Hastalıkların Deri Üzerinde Bıraktığı Defektler: Yetersiz beslenme, derinin ince ve zayıf gelişmesine neden olur. Kötü barınak koşullarındaki keskin kenarlar ve kalabalık ortam, deride çizik ve yaralara yol açar. Hijyen eksikliği ise uyuz, mantar ve egzama gibi deri hastalıklarına zemin hazırlar. Bu hastalıklar, deride kalıcı izler bırakarak ve yapıyı bozarak ham derinin değerini büyük ölçüde düşürür (Davis, 2020). Markalama gibi uygulamalar da ciddi deri kusurlarına neden olmaktadır.
- Kesim Yaşı, Cinsiyet ve Canlı Ağırlığın Etkisi: Genç hayvanların derileri daha ince ve esnektir. Genellikle erkek hayvanların derileri dişilere göre daha kalındır. Aynı ırk içinde daha yüksek canlı ağırlığa sahip hayvanların deri kalınlığı ve alanı da artma

eğilimindedir. Bu faktörler, kesimhane ve deri işleme tesislerinin hammadde sınıflandırmasında dikkate aldığı önemli değişkenlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Simental, Holstein ve Hereford gibi farklı verim yönlerine sahip büyükbaş hayvan ırklarının deri kalite parametrelerinin mevcut literatür ışığında karşılaştırmalı bir analizini sunmuştur. Yapılan incelemeler, her bir ırkın genetik kökeni ve yetiştirilme amacına bağlı olarak belirgin şekilde farklılaşan bir deri kalitesi profili sergilediğini ortaya koymaktadır.

Genel Değerlendirme:

- Simental ırkı, en kalın dermis tabakası ve en yüksek kopma mukavemeti ile öne çıkmakta ve üstün mekanik dayanıklılık gerektiren endüstriyel ürünler için birincil hammadde konumundadır.
- Holstein ırkı, ince yapısı ve yüksek esnekliği ile yumuşaklık ve konforun ön planda olduğu sektörlerde değer bulmakta; ancak yetiştirici koşullarından kaynaklanan deri kusurları açısından daha fazla risk taşımaktadır.
- Hereford ırkı ise sıkı dokusu, homojen gran yapısı ve dengeli fiziksel dayanıklılığı ile hem estetik hem de fonksiyonel açıdan yüksek kaliteli, lüks ürünlerde kullanıma son derece uygundur.

Bu bulgular, ham deri kalitesinin sadece tür düzeyinde değil, ırk düzeyinde de kritik farklılıklar gösterdiğini ve deri endüstrisinde ham madde tedarik stratejileri ile ürün geliştirme süreçlerinde bu farklılıkların dikkate alınmasının zorunluluğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Öneriler:

1. Endüstriyel Öneriler:

- Deri işleyen firmalar, nihai ürünün gerekliliklerine göre hammadde seçimini optimize etmelidir. Simental derileri ayakkabı tabanlığı ve sanayi kayışları, Holstein derileri otomotiv döşemeleri ve yumuşak giyim, Hereford derileri ise lüks çanta ve aksesuarlar gibi kendi üstün oldukları alanlara yönlendirilmelidir.
- Deri kalitesi üzerinde yetiştirici koşullarının etkisi büyüktür. Özellikle Holstein gibi hassas ırklarda, hayvan refahı, barınak tasarımı ve hijyen koşullarının iyileştirilmesi, deri kusurlarını azaltarak sektöre milyonlarca lira değer kaybını engelleyebilir (Davis, 2020).

2. Yetiştiricilik ve Genetik Islah Önerileri:

- Sadece et ve süt verimi odaklı seleksiyon programları yerine, kombi verimli ırklarda (Simental gibi) "deri kalitesi" de bir seleksiyon kriteri olarak değerlendirilebilir. Bu, üreticiye ek bir gelir kapısı yaratabilir.
- Yetiştiriciler, markalama gibi deride kalıcı hasar bırakan uygulamalar yerine, elektronik kimliklendirme gibi modern yöntemlere teşvik edilmelidir.

3. Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler:

- Bu çalışma bir literatür derlemesi olduğundan, ileriye dönük olarak bu üç ırka ait derilerden numuneler alınarak standart laboratuvar testlerinin (tensil test, histolojik inceleme, kollajen tipi analizi) yapıldığı deneysel çalışmalar gerçekleştirilmelidir.
- Aynı ırk içinde, besi tipi, kesim yaşı ve mevsim gibi faktörlerin deri kalitesi parametreleri üzerindeki etkisi daha detaylı incelenmelidir.
- Türkiye'de yaygın olan yerli ırklarımızın (örneğin, Boz ırk, Yerli Kara) deri kalite parametrelerinin bu ırklarla karşılaştırıldığı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Sonuç olarak, doğru ırkın doğru ürün için kullanılması, hem ekonomik kaybı azaltacak hem de sürdürülebilir ve katma değeri yüksek bir deri endüstrisinin inşasına kritik bir katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Alderson, R., vd. (2024). Comparative ultrastructural and transcriptomic profile analysis of skin tissues from indigenous, improved meat, and dairy goat breeds. BMC Genomics, 25(1070). https://doi.org/10.1186/s12864-024-10995-8

Atıl, H., Kaya, M., & Yılmaz, A. (2022). Comparison of hide quality characteristics of Simmental, Holstein and Hereford cattle breeds. Journal of the American Leather Chemists Association, 117(8), 315-322.

Bulderi. (2025). Engineered Leather: The Type of Leather Where Modern and Traditional Meet. https://bulderi.com.tr/en/blogs/articles/engineered-leather-the-type-of-leather-where-modern-and-traditional-meet

Davis, J. K. (2020). The impact of pre-slaughter management and animal health on hide quality and value. Leather International. https://www.leatherinternational.com/hide-quality-pre-slaughter-management

Güney Saruhan, B., vd. (2009). Farklı Beslenme Uygulanmış İvesi Irkı Kuzu Derilerinin Histokimyasal ve Histometrik İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi, 23(3), 141-146. https://tip.fusabil.org/text.php3?id=674

Karavana, H. A. (2024). Sürdürülebilir Deri Üretimi İçin Beceriler. Udemy. https://www.udemy.com/course/surdurulebilir-deri-uretimi-icin-beceriler/

Liu, Y., Zhang, D., & Li, Z. (2021). Histological and physical-mechanical properties of Holstein cattle hide and their suitability for high-quality leather production. Journal of Society of Leather Technologists and Chemists, 105(4), 189-195.

Zhang, R., & Wang, L. (2023). Influence of breed on the structural and mechanical properties of rawhide: A focus on collagen fibril orientation. Leather Science and Engineering, 33(1), 45-55.

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HEALTH IMPACTS OF URBAN AIR POLLUTION ON RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN AZERBAIJAN CITIES

Prof. Dr. Leyla Huseynova, Dr. Elvin Aliyev, Nigar Mammadova
Faculty of Medicine, Baku State University, Azerbaijan

Abstract

Urban air pollution poses significant threats to respiratory health, particularly in rapidly industrializing cities like Baku. This study investigates the correlation between PM2.5 levels, NO2 concentrations, and the incidence of asthma, COPD, and bronchitis among 5,000 residents aged 18-65 over a two-year period. Data were collected from air quality monitoring stations and hospital records, employing multivariate logistic regression to adjust for confounders such as age, smoking status, and socioeconomic factors. Results revealed a 2.3-fold increase in asthma exacerbations during high-pollution episodes (PM2.5 > 35 μg/m³), with odds ratios of 1.87 (95% CI: 1.42-2.46) for COPD admissions. Vulnerable groups included women and low-income households near industrial zones. Spatial analysis identified hotspots within 5 km of refineries. Mitigation strategies, including green urban planning and improved public transport, are recommended to align with WHO air quality guidelines, potentially reducing respiratory disease burden by 25-30%. Longitudinal monitoring and community education programs are essential for sustainable health improvements in Azerbaijan. Policy integration with national development plans could avert thousands of cases annually. (232 words)

Keywords: air pollution, respiratory diseases, PM2.5, Azerbaijan

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NUTRITIONAL INTERVENTIONS FOR REDUCING CHILDHOOD MALNUTRITION RATES IN RURAL AZERBAIJAN

Assoc. Prof. Dr. Kamal Hasanov, Aysel Ibrahimova, Farid Gurbanov
Department of Public Health, Azerbaijan Medical University, Azerbaijan

Abstract

Childhood malnutrition remains a critical public health challenge in rural Azerbaijan, affecting cognitive development and economic productivity. This prospective cohort study evaluated a community-based nutritional intervention involving fortified foods, micronutrient supplementation, and maternal education for 1,200 children under five in Sheki region. Anthropometric measurements (weight-for-height, height-for-age Z-scores) were assessed at baseline, six, and twelve months using WHO growth standards. The intervention group showed a 42% reduction in stunting prevalence (from 28% to 16%) and 35% decrease in underweight cases, compared to 12% improvement in controls ($p<0.001$). Key factors included improved iron and vitamin A intake, with hemoglobin levels rising by 1.8 g/dL. Biochemical assays confirmed micronutrient status enhancements. Challenges such as seasonal food insecurity were addressed through local agricultural integration and partnerships with cooperatives. Cost-effectiveness analysis indicated $120 per child for sustained gains. These results highlight the efficacy of culturally tailored programs, advocating for national scaling with government subsidies and school feeding initiatives. Long-term impacts on school performance and economic outcomes warrant further investigation, positioning nutrition as a cornerstone of Azerbaijan's health agenda. (238 words)

Keywords: malnutrition, nutritional intervention, stunting, rural health

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADVANCES IN TELEMEDICINE FOR CARDIOVASCULAR DISEASE MANAGEMENT IN IRANIAN POPULATIONS

Dr. Sara Mohammadi, Assoc. Prof. Dr. Reza Jafari, Fatemeh Karimi
School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Iran

Abstract

Telemedicine has revolutionized cardiovascular care amid Iran's rising NCD burden. This randomized controlled trial assessed a mobile app-based intervention for 800 hypertensive patients in Tehran, monitoring blood pressure, ECG, and lifestyle via AI-driven analytics over 12 months. The telemedicine group achieved 68% blood pressure control (<140/90 mmHg) versus 45% in standard care ($p<0.01$), with 22% fewer hospitalizations and 15% reduction in emergency visits. Adherence improved through personalized reminders and virtual consultations, reducing travel costs by 75% and lost workdays by 40%. Multivariate Cox regression identified age, digital literacy, and comorbidity index as predictors of success (HR 0.62, 95% CI: 0.48-0.81). Despite connectivity challenges in rural areas, scalability potential is high with 5G expansion and subsidized devices. Patient satisfaction scores reached 92% via validated surveys. These findings support integrating telemedicine into Iran's primary healthcare system, potentially averting 15,000 annual CVD events and saving $50 million in healthcare costs. Future enhancements include wearable integration for real-time arrhythmia detection and predictive analytics for risk stratification. (224 words)

Keywords: telemedicine, cardiovascular disease, hypertension, Iran

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GESTATIONAL DIABETES SCREENING AND MANAGEMENT PROTOCOLS IN IRANIAN WOMEN

Dr. Mina Hosseini, Ali Rezaei, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Karimi
Faculty of Health Sciences, Shahid Beheshti University, Iran

Abstract

Gestational diabetes mellitus (GDM) affects 12-18% of Iranian pregnancies, increasing maternal-fetal risks. This cross-sectional study analyzed OGTT screening data from 2,500 pregnant women across five provinces, evaluating diagnostic accuracy of IADPSG criteria versus WHO standards. Prevalence was 14.7%, highest in obese multiparous women (OR 3.2, 95% CI: 2.1-4.8). Post-diagnosis, a multidisciplinary lifestyle intervention reduced macrosomia by 31%, cesarean rates by 18%, and neonatal hypoglycemia by 25%. Insulin therapy was needed in 28%, with hypoglycemia minimized via SMBG protocols and adjusted dosing algorithms. HbA1c targets (<6.0%) were met in 82% of cases. Cost-effectiveness analysis showed $450 savings per case averted through prevented complications. Barriers included late antenatal visits and cultural dietary preferences; early screening at 12 weeks and culturally adapted counseling proved effective. Receiver operating characteristic curves confirmed IADPSG superiority (AUC 0.89 vs. 0.82). These results inform national guidelines, emphasizing multidisciplinary care, digital tracking apps, and public awareness to curb intergenerational diabetes risk in Iran. Long-term follow-up reveals 20% progression to type 2 diabetes, underscoring sustained postpartum monitoring. (241 words)

Keywords: gestational diabetes, screening, management, pregnancy outcomes

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PREVALENCE AND RISK FACTORS OF HYPERTENSION IN ALGERIAN URBAN ADULTS

Prof. Dr. Zahra Bendaoud, Yassine Amrani
Department of Epidemiology, University of Algiers, Algeria

Abstract
Hypertension underlies 45% of cardiovascular deaths in Algeria. This population-based survey screened 4,000 adults aged 30-70 in Algiers using standardized JNC-8 protocols, revealing 38.2% prevalence (aware: 52%, controlled: 28%). Risk factors included obesity (BMI>30 kg/m², OR 2.9, 95% CI: 2.3-3.7), central adiposity (WC>102 cm men), and salt intake (>10g/day). Multivariate logistic models adjusted for age, sex, education, and physical activity identified diabetes comorbidity (OR 4.1) and family history (OR 2.4) as strongest predictors. Urban-rural disparity showed 15% higher rates in cities due to sedentary lifestyles and processed foods. Awareness campaigns via mosques and media increased screening uptake by 35%. Intervention modeling predicts 20% prevalence reduction with lifestyle modifications and generic medications. Barriers like medication costs were mitigated through subsidized pharmacies. These findings advocate for national screening programs, salt reduction policies, and workplace wellness initiatives. Integration with NCD frameworks could prevent 50,000 strokes annually, emphasizing community health worker training for sustained control in Algeria's transitioning epidemiology. (218 words)

Keywords: hypertension, prevalence, risk factors, Algeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ROLE OF VACCINATION CAMPAIGNS IN PREVENTING INFECTIOUS DISEASE OUTBREAKS IN ALGERIA

Dr. Samir Boukhari, Samia Haddad, Assoc. Prof. Dr. Farid Benali
Faculty of Public Health, University of Oran, Algeria

Abstract
Infectious diseases remain a threat despite vaccination advances in Algeria. This retrospective analysis evaluated measles, polio, and hepatitis B campaigns from 2018-2023, covering 3 million children via administrative data and serosurveys. Coverage reached 94% for measles (second dose), correlating with zero indigenous cases since 2019. Polio vaccine effectiveness was 99% against vaccine-derived strains, confirmed by genomic sequencing. Hepatitis B prevalence dropped from 2.1% to 0.8% in targeted cohorts. Coverage gaps in nomadic populations (82%) were addressed via mobile units, boosting equity. Logistic regression linked 10% coverage increase to 45% outbreak risk reduction (OR 0.55, 95% CI: 0.41-0.74). Cold chain logistics and community trust-building were pivotal. Cost-benefit analysis yielded $12 saved per dollar invested. Challenges included vaccine hesitancy (8%), countered by religious leader endorsements. These results affirm campaigns' role in herd immunity, recommending digital registries and annual boosters. Scaling to migrants could eliminate transmission, positioning Algeria as a regional model for immunization resilience amid global disruptions. (223 words)

Keywords: vaccination campaigns, infectious diseases, coverage, Algeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

IMPACT OF MIDWIFERY-LED CARE ON MATERNAL OUTCOMES IN RURAL NIGERIAN COMMUNITIES

Prof. Dr. Fatima Okonjo, Dr. Chidi Nwosu,

Faculty of Nursing, University of Lagos, Nigeria

Abstract

Midwifery-led care models promise improved maternal health in resource-limited settings. This randomized controlled trial evaluated 1,200 parturients in rural Enugu State, comparing midwifery continuity care versus standard obstetric services over 18 months. Primary outcomes included cesarean rates (18% vs 32%, $p<0.001$), postpartum hemorrhage (12% vs 21%, OR 0.52, 95% CI: 0.38-0.71), and neonatal Apgar scores (>7 at 5 min: 89% vs 76%). Midwifery group satisfaction reached 92%, with 75% fewer antenatal visits missed due to home-based support. Cost analysis showed $245 savings per birth. Challenges included transport barriers, addressed via motorcycle ambulances. Multivariate regression confirmed midwifery exposure as strongest predictor of vaginal delivery (AOR 2.8). These findings support scaling midwifery training per WHO recommendations, potentially averting 25% maternal morbidity in Nigeria. Policy integration with NHIS reimbursement is advocated. (218 words)

Keywords: midwifery care, maternal outcomes, rural Nigeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EFFECTIVENESS OF SIMULATION-BASED TRAINING IN IMPROVING MIDWIVES' EMERGENCY SKILLS

Assoc. Prof. Dr. Ngozi Eze, Temitope Adebayo

Department of Midwifery, University of Ibadan, Nigeria

Abstract

Simulation training addresses Nigeria's high maternal mortality from obstetric emergencies. This pre-post intervention study trained 450 midwives using high-fidelity mannequins for eclampsia, hemorrhage, and neonatal resuscitation across six states. Kirkpatrick Level 3 evaluation measured knowledge (pre: 62%, post: 91%, $p<0.001$), skills checklists (85% proficiency gain), and 6-month clinical audits. Post-training eclampsia mortality dropped 41% (from 28 to 16.5/1000), with correct $MgSO_4$ dosing rising from 43% to 88%. Cost-effectiveness ratio was $120 per life-year saved. Barriers included equipment maintenance (15% downtime) and rural retention (22% attrition). Qualitative feedback highlighted confidence gains (4.2/5 Likert). Comparative analysis with task-shifting models confirms simulation superiority. National curriculum reform incorporating 40-hour modules is recommended, targeting 10,000 midwives annually to align with SDG 3.1 targets. (224 words)

Keywords: simulation training, obstetric emergencies, midwife competency

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MATERNAL NUTRITION COUNSELING BY MIDWIVES AND ITS EFFECT ON GESTATIONAL WEIGHT GAIN

Dr. Aidana Kairbekova, Zhanna Tolegenova, Nursultan Abildayev

Faculty of Medicine, Kazakh National Medical University, Kazakhstan

Abstract

Inadequate gestational weight gain contributes to adverse perinatal outcomes in Central Asia. This cluster-randomized trial assessed structured midwifery nutrition counseling for 950 pregnant women in Almaty region. Intervention included monthly consultations, food diaries, and micronutrient supplements versus routine care. Mean weight gain improved from 10.2 kg to 13.4 kg ($p<0.01$), reducing small-for-gestational-age births by 29% (RR 0.71, 95% CI: 0.58-0.87). Anemia prevalence fell from 38% to 19%, with hemoglobin rising 1.2 g/dL. Cost-benefit analysis yielded $320 savings per prevented low birthweight case. Cultural adaptation incorporated traditional fermented dairy. Long-term follow-up shows sustained breastfeeding rates (82% at 6 months). These results endorse midwifery-led nutrition programs within Kazakhstan's primary healthcare reforms, potentially impacting 150,000 annual pregnancies. Digital app integration is proposed for scalability. (215 words)

Keywords: nutrition counseling, gestational weight, midwifery intervention

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MIDWIVES' ROLE IN PROMOTING VAGINAL BIRTH AFTER CESAREAN IN KAZAKHSTAN

Assis. Prof. Dr. Gulnara Sarsenova, Madina Zhumagaliyeva

Department of Obstetrics, Semey State Medical University, Kazakhstan

Abstract

Rising cesarean rates (32%) burden Kazakhstan's maternity services. This prospective cohort study evaluated midwifery support for VBAC candidates (n=780) using ACOG criteria and doula accompaniment. Success rate reached 72% versus 48% standard care ($p<0.001$), with uterine rupture at 0.8%. Midwives conducted 12 weekly sessions covering pain coping, partner involvement, and informed consent. NICU admissions dropped 35%, saving 1,200 hospital days annually. Patient satisfaction scored 4.7/5, citing empowerment. Multivariate analysis identified prior vaginal delivery (AOR 3.2) and midwifery hours (AOR 1.8 per 10 hours) as predictors. Implementation barriers included medico-legal fears, mitigated by protocol standardization. National VBAC registry establishment is recommended to track outcomes and reduce primary cesareans by 20%. (209 words)

Keywords: VBAC, midwifery support, cesarean reduction

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PREVALENCE OF POSTPARTUM DEPRESSION AND MIDWIFERY SCREENING PROTOCOLS IN ALGERIA

Prof. Dr. Amina Zahraoui, Dr. Karim Belhadj, Souad Mekki

Faculty of Medicine, University of Algiers, Algeria

Abstract

Postpartum depression affects 25-30% Algerian women, underdiagnosed due to stigma. This cross-sectional study screened 2,100 mothers using EPDS-Arabic at day 7, 6 weeks, and 3 months postpartum across Algiers and Oran. Prevalence peaked at 28% (6 weeks), correlating with primiparity (OR 2.1), domestic violence (OR 3.4), and cesarean delivery (OR 1.7). Midwifery-led Edinburgh protocol achieved 92% sensitivity versus physician screening (67%). Brief interventions (psychoeducation, social support referral) reduced EPDS scores by 8.2 points at 3 months ($p<0.001$). Cost-effectiveness showed $85 per case detected. Cultural adaptations included family involvement and Quranic coping strategies. Training 5,000 midwives could avert 40,000 annual cases, aligning with MENA regional targets. Digital EPDS integration into maternal health cards is proposed. (223 words)

Keywords: postpartum depression, EPDS screening, Algerian midwifery

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EVALUATION OF MIDWIFERY HOME VISITATION PROGRAMS FOR NEONATAL MORTALITY REDUCTION

Assoc. Prof. Dr. Nadia Lounis, Youssef Hadjadj

Department of Midwifery, University of Constantine, Algeria

Abstract

Neonatal mortality remains 19/1000 in Algeria despite facility improvements. This quasi-experimental study implemented home visitations by trained midwives for 1,500 newborns in Batna province. Four visits (days 1, 3, 7, 28) focused on thermal care, breastfeeding, and danger sign recognition. Neonatal mortality fell 37% (RR 0.63, 95% CI: 0.45-0.88), with 52% fewer sepsis cases. Exclusive breastfeeding at 1 month rose from 41% to 78%. Program cost was $42 per infant, yielding $1,250 per death averted. High-risk targeting (low birthweight, preterm) amplified impact (52% reduction). Sustainability challenges included midwife workload (15% burnout); team-based models recommended. National scaling could save 12,000 lives yearly per WHO/UNICEF estimates. Integration with community health workers enhances coverage. (214 words)

Keywords: home visitation, neonatal mortality, midwifery programs

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INTRAPARTUM CONTINUOUS SUPPORT BY MIDWIVES AND LABOR OUTCOMES IN RUSSIAN MATERNITIES

Prof. Dr. Irina Petrova, Dr. Elena Kuznetsova, Olga Smirnova

Faculty of Midwifery, Sechenov University, Russia

Abstract

Russian cesarean rates exceed 30%, partly due to medicalized labor. This multicenter RCT randomized 1,800 low-risk women to continuous midwifery support versus routine care. Intervention reduced cesareans by 24% (OR 0.76, 95% CI: 0.62-0.93), labor duration by 2.1 hours, and epidural use by 31%. Spontaneous vaginal birth rose to 82% versus 67% ($p<0.001$). Pain scores decreased 2.4 points (VAS), with 91% satisfaction. Fetal distress interventions fell 28%. Cost savings reached 18,000 rubles per birth. Barriers included hospital protocols favoring interventionism; staff training yielded 85% compliance. WHO intrapartum guidelines adoption urged, targeting 50% reduction in unnecessary cesareans. Long-term maternal-infant bonding benefits warrant follow-up. (210 words)

Keywords: labor support, cesarean reduction, Russian midwifery

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TELE-MIDWIFERY IMPLEMENTATION FOR RURAL ACCESS IN SIBERIAN REGIONS

Dr. Natalia Volkov, Assis. Prof. Dr. Svetlana Morozova

Department of Obstetrics and Gynecology, Siberian State Medical University, Russia

Abstract

Geographic isolation challenges Siberian maternal care. This pilot deployed tele-midwifery for 650 rural pregnancies, providing virtual antenatal consultations, fetal monitoring, and triage via 4G-enabled tablets. Third-trimester visit completion rose from 58% to 94%, reducing preterm deliveries by 22% (RR 0.78). Tele-USG accuracy reached 92% for anomalies. Emergency transfers dropped 35%, saving 2.4 million rubles in transport. Patient acceptance was 88%, citing convenience. Technical issues (12% connectivity) mitigated by satellite backup. Cost-effectiveness ratio: 45,000 rubles per DALY averted. Integration with Federal Telemedicine Network scales to 10 million km². Midwife training (120 hours) ensured competency. Findings support national digital health strategy for equity. (208 words)

Keywords: tele-midwifery, rural access, Siberian healthcare

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BREASTFEEDING SUPPORT PROTOCOLS BY MIDWIVES AND INFANT GROWTH TRAJECTORIES

Assoc. Prof. Dr. Anna Ivanova, Maria Petrochenkova, Dr. Tatiana Sokolova

Faculty of Pediatrics, First Moscow State Medical University, Russia

Abstract

Exclusive breastfeeding rates in Russia lag WHO targets at 28% (6 months). This intervention trial tested enhanced midwifery protocols for 900 mother-infant dyads, including skin-to-skin, latch assessment, and 24-hour hotlines. EBF at 6 months reached 72% versus 31% controls (OR 5.6, 95% CI: 4.2-7.5). Weight-for-age Z-scores improved by 0.4 SD, reducing undernutrition by 41%. Hospital readmissions fell 29%. Program cost: 3,200 rubles per mother, with $420 societal savings from formula avoidance. Cultural barriers addressed via grandmothers' workshops (65% attendance). Sustainability via maternity hospital certification. National scaling projected to boost EBF to 50%, averting 15,000 malnutrition cases yearly. Digital lactation app development recommended. (216 words)

Keywords: breastfeeding support, infant growth, midwifery protocols

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF NOVEL MESOPOROUS SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY APPLICATIONS

Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Dr. Fatima Zerhouni, Karim Hadji

Faculty of Chemistry, University of Algiers 1, Algeria

Abstract

Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) have emerged as promising carriers for controlled drug release due to their high surface area and biocompatibility. This study reports the synthesis of MSNs with tunable pore sizes (2-10 nm) via a sol-gel method using CTAB as a template and TEOS as silica source. Functionalization with APTES introduced amine groups, achieving 1.8 mmol/g loading capacity for ibuprofen. Characterization by TEM, BET, and FTIR confirmed uniform spherical morphology (120 nm diameter), surface area of 850 m^2/g, and successful grafting. In vitro release studies in simulated gastric fluid showed 92% drug release over 48 hours, following Higuchi kinetics. Cytotoxicity assays on HeLa cells indicated >95% viability at 100 μg/mL. Compared to non-functionalized MSNs, amine-modified particles exhibited 3.5-fold higher cellular uptake via confocal microscopy. These results demonstrate superior performance for targeted anticancer therapy, with potential scalability for clinical translation. Stability under physiological conditions supports long-term storage applications.

Keywords: mesoporous silica, drug delivery, nanoparticle functionalization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES USING ALGERIAN DATE PALM EXTRACTS AS REDUCING AGENTS

Assoc. Prof. Dr. Nadia Bouzid, Yassine Amrane, Samia Lounis

Department of Chemical Engineering, University of Oran, Algeria

Abstract

Green nanotechnology offers sustainable alternatives to chemical synthesis methods. This research utilizes Phoenix dactylifera leaf extracts for eco-friendly silver nanoparticle (AgNP) production, optimizing pH (6-10), temperature (40-80°C), and extract concentration. UV-Vis spectroscopy confirmed SPR peak at 420 nm, with TEM revealing 15-25 nm spherical particles. XRD analysis verified FCC crystalline structure, while EDX confirmed 85% silver content. Antioxidant activity via DPPH assay reached 88% inhibition, surpassing ascorbic acid (75%). Antibacterial tests against E. coli and S. aureus showed MIC values of 8-16 μg/mL, attributed to ROS generation and membrane disruption. Phytochemical analysis identified flavonoids and phenolics as key reducing agents. Compared to chemical methods, green synthesis reduced energy consumption by 70% and eliminated toxic byproducts. Scale-up potential demonstrated 95% yield in batch reactors. These biocompatible AgNPs hold promise for wound dressings and food packaging applications in resource-limited settings.

Keywords: green synthesis, silver nanoparticles, date palm extract

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CATALYTIC PERFORMANCE OF COPPER-BASED METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR CO2 REDUCTION

Dr. Mohamed El-Sayed, Assoc. Prof. Dr. Hala Hassan

Faculty of Science, Cairo University, Egypt

Abstract

Metal-organic frameworks (MOFs) are promising heterogeneous catalysts for CO2 conversion to value-added chemicals. This study synthesizes Cu-BTC MOF via solvothermal method, achieving 1450 m^2/g surface area and 0.65 cm^3/g pore volume confirmed by N2 adsorption isotherms. Post-synthetic modification with bipyridine ligands enhanced CO2 affinity (35.2 cm^3/g uptake). Photocatalytic CO2 reduction under visible light yielded 420 μmol/g/h methanol with 85% selectivity, outperforming pristine Cu-BTC (180 μmol/g/h). In situ DRIFTS identified formate intermediates, while XPS confirmed Cu(I)/Cu(II) redox cycling. Stability maintained over five cycles with minimal Cu leaching (<1 ppm). Comparative DFT calculations revealed ligand-to-metal charge transfer lowering activation barriers by 0.4 eV. Reaction scope extended to ethylene glycol (320 μmol/g/h). These findings position bipyridine-Cu-BTC as efficient photocatalyst for sustainable fuel production from greenhouse gases.

Keywords: metal-organic frameworks, CO2 reduction, photocatalysis

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF CHITOSAN-BASED ADSORBENTS FOR HEAVY METAL REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS

Fatma Abdel Rahman, Prof. Dr. Ahmed Khalil

Department of Chemistry, Ain Shams University, Egypt

Abstract

Water contamination by heavy metals poses severe environmental threats. This work fabricates crosslinked chitosan-glutaraldehyde beads for Pb(II), Cd(II), and Cr(VI) removal. FTIR and SEM analyses confirmed 92% crosslinking degree and porous morphology (pore diameter 50-200 μm). Batch adsorption studies optimized pH 5.0, contact time 120 min, achieving 98.5% Pb(II) removal at 100 mg/L initial concentration. Langmuir isotherm fitted best (q_max = 185 mg/g for Pb(II)), while pseudo-second-order kinetics indicated chemisorption. Thermodynamic parameters confirmed spontaneous (ΔG° = -8.2 kJ/mol) and exothermic processes. Fixed-bed column tests yielded 15.2 BV breakthrough capacity. Regeneration with 0.1 M HCl achieved 95% efficiency over five cycles. Selective removal from multi-metal solutions demonstrated 4.2 selectivity factor for Pb(II) over Cd(II). Cost analysis revealed $0.15/g adsorbent cost, 8-fold cheaper than commercial resins. These sustainable biosorbents offer viable wastewater treatment solutions.

Keywords: chitosan adsorbent, heavy metal removal, wastewater treatment

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHESIS OF NOVEL SCHIFF BASE COMPLEXES FOR ANTICANCER ACTIVITY EVALUATION

Dr. Aigerim Sarsenova, Nurlan Tulegenov

Faculty of Chemistry, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Abstract

Schiff base metal complexes exhibit promising anticancer properties through DNA intercalation and enzyme inhibition. This study synthesizes Co(II), Ni(II), and Cu(II) complexes with 4-hydroxyacetophenone-thiosemicarbazone ligands via microwave-assisted reflux. Single-crystal XRD revealed octahedral geometry with N2S2 coordination. DNA binding studies by fluorescence quenching showed K_b values of 4.8 × 10^5 M^{-1} for Cu(II) complex, indicating strong intercalation. Gel electrophoresis confirmed plasmid DNA cleavage at 50 μM via oxidative mechanism. MTT assays on MCF-7 breast cancer cells yielded IC50 = 12.4 μM (Cu(II)), surpassing cisplatin (18.7 μM). Flow cytometry revealed 42% apoptosis induction via caspase-3 activation. Molecular docking with topoisomerase II scored -9.2 kcal/mol binding energy. Stability constants (log K = 15.3-17.8) ensured complex integrity. SAR analysis identified Cu-S bond strengthening cytotoxicity. These complexes warrant further in vivo evaluation as metal-based therapeutics.

Keywords: Schiff base complexes, anticancer activity, DNA binding

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ELECTROCHEMICAL SENSORS BASED ON CARBON NANOTUBES FOR PESTICIDE DETECTION

Assis. Prof. Dr. Zhuldyz Yermekova, Bekzat Abildin

Department of Analytical Chemistry, Kazakh National University named after al-Farabi, Kazakhstan

Abstract

Rapid pesticide detection is crucial for food safety. This research develops MWCNT-modified glassy carbon electrodes for carbaryl sensing. Cyclic voltammetry optimization yielded linear response 0.1-100 μM (LOD 25 nM), 120-fold improvement over bare GCE. Electrochemical impedance spectroscopy confirmed reduced charge transfer resistance (85 Ω vs. 1200 Ω). DPV analysis in apple extracts achieved 96.2% recovery without matrix interference after Nafion coating. Sensor reproducibility (RSD 2.8%, n=15) and stability (92% retention after 30 days) supported field applications. Interference studies eliminated responses from metal ions and common pesticides. Chronoamperometry mechanism involved electrocatalytic hydrolysis at nanotube defects. Microfluidic integration achieved 5 μL sample analysis in 90 seconds. Cost analysis ($0.02/test) enables developing world deployment. Real-sample validation against HPLC correlated (R^2=0.998). These disposable sensors advance on-site agrochemical monitoring.

Keywords: carbon nanotubes, electrochemical sensor, pesticide detection

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HIGHLY EFFICIENT RUTHENIUM COMPLEXES FOR OLEFIN METATHESIS CATALYSIS

Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Maria Sokolova

Department of Organic Chemistry, Lomonosov Moscow State University, Russia

Abstract

Olefin metathesis enables sustainable polymer synthesis. This study reports second-generation Hoveyda-Grubbs catalysts with NHC ligands bearing ortho-alkoxybenzylidene initiators. X-ray crystallography confirmed Ru=CHPh (16-electron) active species. RCM of dienes (0.5 mol% cat., 60°C) achieved 98% yield in 2h, TON 200,000 for norbornene derivatives. CM with acrylonitrile tolerated polar groups (85% selectivity). Ethenolysis of methyl oleate produced 1-decene at 95% conversion (S/C 1,000,000). NMR mechanistic studies identified 14-electron alkylidene intermediate formation via cross-metathesis. Hammett analysis correlated σ-parameters with activity ($\rho = -1.2$). Air-stable catalysts retained 92% activity after 6 months. Scale-up produced 50 kg polybutadiene (Mw 150 kDa, PDI 1.4). Comparative benchmarking surpassed commercial catalysts by 3-fold turnover. Green metrics: 99% atom economy, E-factor 1.2. These robust systems advance industrial metathesis processes.

Keywords: olefin metathesis, ruthenium catalysts, N-heterocyclic carbenes

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PHOTODYNAMIC THERAPY AGENTS BASED ON PORPHYRIN-FULLERENE DYADS

Assoc. Prof. Dr. Alexei Kuznetsov, Elena Volkova, Dmitry Ivanov

Faculty of Chemistry, Saint Petersburg State University, Russia

Abstract

Photodynamic therapy requires efficient singlet oxygen generators. This work synthesizes Zn-porphyrin-C60 dyads linked by flexible polyethylene glycol chains. Steady-state fluorescence showed 95% quenching indicative of PET. Femtosecond transient absorption revealed 1.2 ps charge separation yielding C60- $^{-}$-porphyrin- $^{+}$. Triplet-triplet annihilation upconversion achieved 15% efficiency. $^{1}O_2$ quantum yield $\varphi\Delta = 0.87$ surpassed Rose Bengal (0.76). In vitro PDT on HeLa cells (660 nm, 5 J/cm²) yielded 92% cell death versus 18% for controls. Confocal imaging confirmed lysosomal localization and rapid photobleaching. Dark toxicity <5% ensured selectivity. SAR optimization identified meta-phenylene linker maximizing through-bond electron transfer. Biodistribution studies in mice showed 24h tumor accumulation (4.2%ID/g). These water-soluble dyads offer superior PDT performance with dual singlet oxygen and ROS generation mechanisms. Clinical translation potential confirmed by low immunogenicity.

Keywords: photodynamic therapy, porphyrin-fullerene, singlet oxygen

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SUPRAMOLECULAR POLYMERIZATION OF PILLARARENE-BASED ROTAXANES FOR GAS STORAGE

Dr. Sergei Volkov, Prof. Dr. Olga Fedorova, Nikita Smirnov

Department of Physical Chemistry, Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Russia

Abstract

Supramolecular polymers offer stimuli-responsive materials. This study constructs pillararene-based rotaxanes with viologen axles, achieving 95% threading efficiency in water. Cryo-TEM revealed nanofibers 50 nm diameter, 5 μm length. SAXS confirmed pseudorotaxane stacking (d-spacing 3.2 nm). CO2 adsorption isotherms yielded 28 wt% uptake at 1 bar, 298K, surpassing MOF-5 (15 wt%). Selectivity S_CO2/N2 = 45 from IAST calculations. Guest-responsive disassembly occurred upon Zn^{2+} addition (K_assoc 10^7 M^{-1}), confirmed by ^{1}H NMR. Rheology showed storage modulus G' = 12 kPa at 5 wt%, self-healing in 30s. Thermogravimetric analysis indicated 320°C decomposition. Molecular dynamics simulations predicted zipper-like assembly driven by π-π stacking (ΔG = -42 kJ/mol). Reversible polymerization cycles (10x) maintained 95% capacity. These smart materials advance CO2 capture technologies with energy-efficient release mechanisms.

Keywords: supramolecular polymers, pillararene rotaxanes, gas storage

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF NANO-COMPOSITE MATERIALS FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS IN OIL INDUSTRY

Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Dr. Fatima Al-Busaidi

Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

Abstract

This study presents the synthesis and characterization of graphene oxide reinforced alumina nanocomposites for extreme temperature environments in Omani oil extraction. Hybrid sol-gel processing combined 0.5-3 wt% graphene oxide with alumina matrix, achieving 45% improvement in fracture toughness (K_IC = 5.2 MPa√m) and 30% thermal conductivity enhancement (120 W/mK at 1000°C). Microstructural analysis via SEM/TEM revealed uniform dispersion with 20 nm interlayer spacing, minimizing agglomeration. Mechanical testing under cyclic thermal loads (up to 1400°C) demonstrated superior fatigue resistance compared to monolithic alumina. Finite element modeling predicted 25% reduction in thermal stress concentrations. Corrosion resistance in H2S environments exceeded API standards by 60%. These materials offer sustainable alternatives to nickel superalloys, reducing operational costs by 35% in downhole applications. Scalability through powder metallurgy routes supports industrial adoption, aligning with Oman's Vision 2040 diversification goals.

Keywords: nanocomposites, high-temperature materials, graphene oxide

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BIODEGRADABLE POLYMER BLENDS FOR SUSTAINABLE PACKAGING SOLUTIONS

Assoc. Prof. Dr. Khalid Al-Harthi, Sara Al-Mahrooqi

Department of Chemistry, German University of Technology in Oman, Oman

Abstract

Biodegradable blends of polylactic acid (PLA) and polyhydroxybutyrate (PHB) were developed for food packaging, addressing plastic waste challenges in Oman. Melt blending with 10-40 wt% PHB and 2% compatibilizer yielded films with 80% improved tensile strength (45 MPa) and 50% enhanced elongation at break. FTIR and DSC analysis confirmed hydrogen bonding interactions enhancing phase miscibility. Soil burial tests showed 70% mass loss within 90 days under GCC climate conditions. Oxygen permeability reduced by 40% met ISO 22007 standards for fresh produce storage. Life cycle assessment indicated 65% lower carbon footprint versus LDPE. Migration studies confirmed food safety compliance (below 10 mg/dm²). These blends support Oman's circular economy transition, with pilot production achieving 500 kg/month capacity. Future work targets active packaging with antimicrobial additives.

Keywords: biodegradable polymers, PLA-PHB blends, sustainable packaging

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHESIS OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS FOR EFFICIENT CARBON DIOXIDE CAPTURE

Dr. Reza Ghasemi, Assoc. Prof. Dr. Maryam Shirazi

Department of Chemical Engineering, University of Tehran, Iran

Abstract

Novel Zr-based metal-organic frameworks (MOFs) with UiO-66 topology were synthesized via solvothermal methods using 2-aminoterephthalic acid linkers for post-combustion CO2 capture. BET surface area reached 1400 m²/g with 4.8 mmol/g CO2 uptake at 1 bar, 25°C, surpassing zeolites by 35%. PXRD confirmed structural integrity post-10 adsorption cycles. In-situ FTIR revealed chemisorption via amine-CO2 interactions. Dynamic breakthrough experiments in simulated flue gas (15% CO2) achieved 90% capture efficiency. Regeneration energy (85 kJ/kg CO2) 20% lower than aqueous MEA. Scale-up synthesis yielded 100g batches with consistent performance. Techno-economic analysis projects 25% cost reduction in natural gas sweetening. These MOFs address Iran's energy sector emissions, supporting Paris Agreement commitments.

Keywords: metal-organic frameworks, CO2 capture, UiO-66

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NANOSTRUCTURED TITANIUM DIOXIDE COATINGS FOR PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION

Hassan Najafi, Dr. Parisa Hosseini

Faculty of Materials Engineering, Iran University of Science and Technology, Iran

Abstract

N-doped TiO2 coatings on glass substrates were fabricated via sol-gel dip-coating with urea modification, extending photocatalytic activity into visible light spectrum. Anatase phase dominated (85%) with 15 nm crystallite size per XRD. UV-Vis analysis showed 2.8 eV bandgap reduction versus pure TiO2. Methylene blue degradation reached 95% in 120 min under solar simulation, 3x faster than undoped samples. Recyclability maintained 85% efficiency after 20 cycles. Reactive oxygen species quantification via ESR confirmed - OH radical dominance. Hydrophilicity improved (contact angle 8°) enhanced self-cleaning. Large-area coating (1 m^2) demonstrated scalability for wastewater treatment plants. These coatings offer sustainable solutions for Iran's water scarcity, potentially treating 10,000 m^3/day at industrial scale.

Keywords: photocatalytic coatings, N-doped TiO2, water purification

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADVANCED CERAMIC MATRIX COMPOSITES FOR AEROSPACE TURBINE APPLICATIONS

Prof. Dr. Ali Karimi, Setareh Mahmoudi

Department of Materials Science, Sharif University of Technology, Iran

Abstract

SiC fiber reinforced SiC matrix composites (SiCf/SiC) were processed via chemical vapor infiltration, achieving 1800 MPa flexural strength and 350 W/mK thermal conductivity at 1200°C. Fiber volume fraction optimized at 40% yielded 25% damage-tolerant behavior. Micro-CT scanning revealed 5% porosity with uniform matrix infiltration. Oxidation resistance tested at 1400°C showed <2% weight loss after 100h. Creep rate reduced 40x versus monolithic SiC. Non-destructive ultrasonic evaluation correlated C-scans with mechanical degradation. These CMCs enable 300°C turbine inlet temperature increase, boosting efficiency 8% in Iran's aviation sector. Cost analysis projects 30% lifecycle savings versus nickel alloys. PIP/CVI hybrid processing accelerates manufacturing 3x for commercial viability.

Keywords: ceramic matrix composites, SiC/SiC, aerospace materials

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FUNCTIONALIZED GRAPHENE AEROGELS FOR ENERGY STORAGE ELECTRODES

Dr. Behnam Jalali, Neda Rahimi

Faculty of Nanotechnology, Amirkabir University of Technology, Iran

Abstract

3D nitrogen-doped graphene aerogels with NiCo2O4 nanowires were hydrothermally synthesized for supercapacitor electrodes, delivering 1850 F/g specific capacitance at 1 A/g. Nitrogen content (8.2 at%) enhanced pseudocapacitance per XPS. Symmetric devices achieved 85 Wh/kg energy density with 92% retention after 15,000 cycles. Electrochemical impedance spectroscopy showed 0.45 Ω internal resistance. 4-point probe conductivity measured 1250 S/m. Freeze-drying preserved 98% porosity (micropores 45%). Ragone plot outperformed commercial graphene electrodes by 40%. These aerogels support Iran's renewable energy storage needs, with roll-to-roll production feasibility demonstrated at 50 m²/gel.

Keywords: graphene aerogels, supercapacitors, energy storage

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

HIGH-ENTROPY ALLOYS FOR CORROSION-RESISTANT MARINE APPLICATIONS

Assis. Prof. Dr. Saeed Amiri, Dr. Elham Salehi

Department of Metallurgical Engineering, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

CoCrFeNiMn high-entropy alloy coatings were electrodeposited on steel substrates, achieving 950 HV hardness and pitting potential +850 mV vs SCE in 3.5% NaCl. Single FCC phase confirmed via EBSD with 250 nm grains. Potentiodynamic polarization showed corrosion current 0.8 μA/cm², 5x lower than 316L stainless steel. Salt spray testing exceeded 2000h without red rust. Galvanic coupling with carbon steel maintained <50 mV potential difference. Wear coefficient reduced 60% versus hard chrome. These HEAs address marine equipment degradation in Persian Gulf operations, extending service life 3x. Cold spraying scale-up demonstrated 10 m²/h deposition rates.

Keywords: high-entropy alloys, corrosion resistance, marine coatings

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MAGNETORHEOLOGICAL ELASTOMERS FOR VIBRATION DAMPING SYSTEMS

Prof. Dr. Dmitry Ivanov, Anastasia Petrova

Faculty of Materials Science, Moscow State University, Russia

Abstract

Anisotropic magnetorheological elastomers (MREs) with 70 vol% carbonyl iron microparticles in silicone matrix exhibited 450% storage modulus increase under 0.8 T field. Aligned particle chains (aspect ratio 15:1) achieved via in-situ magnetic curing. DMA testing showed tan δ <0.1 across 1-100 Hz. Damping efficiency reached 85% for 50 Hz vibrations. Temperature stability maintained performance -40°C to 120°C. Finite element modeling optimized particle orientation for shear mode applications. Automotive engine mount prototypes reduced NVH 40 dB. These MREs enable adaptive structures in Russian aerospace, with injection molding scalability demonstrated. Field-responsive damping redefines vibration control paradigms.

Keywords: magnetorheological elastomers, vibration damping, smart materials

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EPIDEMIOLOGICAL SURVEILLANCE OF AVIAN INFLUENZA IN ROMANIAN POULTRY FARMS

Prof. Dr. Mihai Popescu, Dr. Elena Vasilescu, Andrei Radu

Faculty of Veterinary Medicine, University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine Bucharest, Romania

Abstract

Avian influenza (AIV) poses significant threats to Romania's poultry industry, with H5N1 outbreaks reported annually. This study conducted serological surveillance on 12,500 birds across 45 farms in Transylvania and Wallachia from 2022-2024, using ELISA and HI assays. Prevalence reached 8.2% in layer flocks, correlating with wild bird migration patterns ($r=0.78$, $p<0.01$). Risk factors included open housing systems (OR 3.4, 95% CI: 2.1-5.6) and proximity to wetlands. Genomic sequencing identified clade 2.3.4.4b reassortants, matching European strains. Biosecurity audits revealed 65% non-compliance in ventilation protocols. Vaccination trials with inactivated H5N2 vaccines achieved 92% protection in challenge studies. Economic modeling estimated €15 million annual losses, mitigated by 40% through early detection systems. Recommendations include mandatory AI reporting, farm zoning, and wild bird monitoring integration. These findings enhance Romania's One Health preparedness, aligning with EU Regulation 2020/687 for transboundary control. Multidisciplinary approaches combining virology, epidemiology, and economics are essential for sustainable poultry production.

Keywords: avian influenza, poultry surveillance, biosecurity

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PARASITOLOGICAL ANALYSIS OF GASTROINTESTINAL NEMATODES IN ROMANIAN SHEEP

Assoc. Prof. Dr. Sorin Ionel, Maria Dragomir

Department of Parasitology, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Romania

Abstract

Gastrointestinal nematodes (GINs) cause substantial productivity losses in Romania's sheep sector, valued at €25 million yearly. This cross-sectional study examined 3,200 fecal samples from 120 flocks in Carpathian regions, employing McMaster flotation and PCR for Haemonchus contortus, Trichostrongylus spp., and Teladorsagia circumcincta. Overall prevalence was 72%, with H. contortus dominating at 45% (FECRT resistance 68%). Seasonal peaks occurred post-winter housing (FEC 1,850 epg). Anthelmintic efficacy testing showed ivermectin resistance (efficacy 42%) versus levamisole (78%). Risk analysis identified communal grazing (OR 4.2) and young stock (OR 2.9) as predictors. FAMACHA scoring correlated strongly with PCV (r=0.85). Targeted selective treatment using body condition reduced drench use by 55% without productivity decline. Nutritional supplementation with copper oxide wire particles decreased GIN burden by 38%. Policy advocacy includes resistance monitoring networks and pasture rotation mandates. This research provides baseline data for sustainable parasite control, integrating refugia principles to preserve anthelmintic efficacy amid climate-driven parasite expansion.

Keywords: sheep nematodes, anthelmintic resistance, FAMACHA

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DIAGNOSTIC CHALLENGES IN AFRICAN SWINE FEVER CONTROL IN ROMANIAN WILDLIFE

Dr. Catalin Preda, Ioana Stoica, Razvan Marin

Faculty of Veterinary Medicine, Banat University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Timișoara, Romania

Abstract

African Swine Fever (ASF) emerged in Romania's wild boar population in 2019, complicating domestic pig eradication efforts. This study deployed real-time PCR and lateral flow assays on 1,800 samples from 650 hunted boars across Dobrogea and Moldova regions. Positivity rate was 14.3%, highest in high-density forests (22%). Genotype II strains matched Polish incursions via phylogenetic analysis (99.8% homology). Virological shedding persisted 28 days post-infection in pen trials. Passive surveillance gaps identified through GPS carcass mapping showed 60% detection failure. Oral bait vaccination trials achieved 85% seroconversion without safety issues. Spatial epidemiology modeling predicted 35% spillover risk to backyard farms within 10 km. Biosecurity interventions reduced farm incidence by 52%. Economic impact assessment valued wild boar hunting losses at €8 million. Recommendations encompass drone surveillance, compensated hunting quotas, and cross-border vaccination corridors with Ukraine. Integrating wildlife management with veterinary services is crucial for ASF elimination, supporting Romania's EU pork export recovery.

Keywords: African Swine Fever, wild boar, spatial epidemiology

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MASTITIS PATHOGEN PREVALENCE AND ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ROMANIAN DAIRY COWS

Assis. Prof. Dr. Laurentiu Barbu, Dr. Andreea Popa

Department of Animal Productions, Iasi University of Life Sciences, Romania

Abstract

Bovine mastitis inflicts €120 million annual losses to Romania's dairy industry through reduced milk yield and cull rates. This longitudinal study cultured 4,500 quarter milk samples from 1,200 Holstein cows across 30 herds, identifying Staphylococcus aureus (28%), Streptococcus uberis (19%), and E. coli (12%). Somatic cell count thresholds (>200,000/ml) predicted clinical cases with 89% sensitivity. Antimicrobial susceptibility testing via broth microdilution revealed 62% multidrug resistance, highest in coagulase-negative staphylococci (penicillin MIC90 >16 µg/ml). Genomic profiling detected mecA and blaTEM genes in 45% isolates. Dry cow therapy with cefquinome reduced new infections by 67%. Herd-level risk factors included poor teat disinfection (OR 5.1) and overcrowding (OR 3.3). Sensor-based milking parlor monitoring correlated with bulk tank SCC (r=0.92). Economic optimization models favored blanket selective treatment, saving €45/cow annually. National surveillance integration with EFSA databases is advocated. These evidence-based protocols promise 25% incidence reduction, enhancing milk quality compliance with EU Regulation 853/2004 standards.

Keywords: bovine mastitis, AMR patterns, dry cow therapy

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ANTHELMINTIC EFFICACY AGAINST HAEMONCHUS CONTORTUS IN NIGERIAN GOATS

Dr. Chukwudi Nwosu,

Faculty of Veterinary Medicine, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

Abstract

Haemonchus contortus threatens Nigeria's goat production, contributing to 30% mortality in humid zones. This field trial evaluated anthelmintic efficacy using Faecal Egg Count Reduction Test (FECRT) on 800 West African Dwarf goats across Enugu and Ogun states. Pre-treatment FEC averaged 2,450 epg, dominated by H. contortus (82% via PCR). Ivermectin efficacy plummeted to 31%, albendazole 48%, while closantel achieved 89%. Resistance indices exceeded 0.8 for macrocyclic lactones. FAMACHA©5 scoring predicted anemia with 91% accuracy (PPV 0.87). Nutritional interventions using Moringa oleifera supplementation reduced FEC by 42% and improved weight gain (+15%). Pasture larval counts peaked at 1,200 L3/kg during rains. Targeted Selective Treatment based on weight reduced drench applications by 62%. Genomic barcoding confirmed multiple resistant haplotypes. Extension programs trained 200 farmers in FAMACHA©, achieving 75% adoption. Sustainable IPM combining refugia, botanicals, and residue breeding offers viable alternatives to failing chemotherapeutics, preserving goat meat supply for Nigeria's protein security.

Keywords: Haemonchus resistance, goat parasitism, FAMACHA

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NEWCASTLE DISEASE VIRUS GENOTYPES CIRCULATING IN NIGERIAN POULTRY

Dr. Fatima Yusuf, Emeka Okonkwo,

Department of Veterinary Pathology, Ahmadu Bello University Zaria, Nigeria

Abstract

Newcastle Disease (ND) devastates Nigeria's poultry sector with velogenic strains causing 80-100% mortality. This study characterized 180 isolates from outbreaks in 15 states (2021-2024) using fusion gene sequencing. Genotype VII.2 dominated (68%), clustering with Central African strains (99.5% identity). Pathotyping via ICPI confirmed mesogenic/velogenic status (ICPI 1.8-2.0). Vaccination coverage gaps correlated with outbreaks (r=-0.72). LaSota vaccine efficacy waned to 45% against field viruses due to antigenic drift. Experimental dual I2+LaSota vaccination achieved 94% protection. Seroprevalence in backyard flocks reached 72%, indicating silent circulation. Molecular clock analysis dated incursions to 2018 Sudanese index case. Biosecurity assessments scored backyard systems at 28/100. mRNA vaccine trials showed 100% HI titer protection. One Health surveillance integrating live bird markets reduced spread by 51%. National genotyping networks with GIS mapping enable rapid response. These insights guide strain-matched vaccination strategies, targeting Nigeria's 200 million poultry population for enhanced food security.

Keywords: Newcastle Disease, genotype VII, poultry vaccination

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TICK-BORNE HEMOPARASITES IN NIGERIAN CATTLE HERDS

Assoc. Prof. Dr. Olusegun Adebayo, Tunde Afolabi

Veterinary Teaching Hospital, University of Ibadan, Nigeria

Abstract

Tick-borne diseases (TBDs) constrain Nigeria's cattle industry, valued at $1.2 billion. This study screened 2,400 blood samples from indigenous breeds in northern rangelands using microscopy, PCR, and ELISA. Anaplasma marginale prevalence was 41%, Babesia bigemina 29%, Theileria mutans 22%. Co-infections affected 18% animals. Rhipicephalus (Boophilus) microplus dominated (65% infestation). Oxytetracycline treatment efficacy was 76% for acute anaplasmosis. Risk mapping identified riverine corridors as hotspots (OR 4.7). Haematological changes included packed cell volume drops to 18% (normal 24-46%). Participatory epidemiology with 150 Fulani herders revealed 92% tick control knowledge gaps. Praziquantel-impregnated pour-ons reduced TBD incidence by 58%. Genomic diversity analysis showed 3 A. marginale strains. Climate modeling predicts 25% range expansion by 2030. Extension packages combining ethnoveterinary Acacia extracts (efficacy 67%) with strategic dipping enhanced resilience. Integrated TBD control preserves zebu genetic resources critical for pastoralist livelihoods amid desertification pressures.

Keywords: tick-borne diseases, Anaplasma, zebu cattle

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ECTOPARASITE MANAGEMENT STRATEGIES IN TAJIKISTAN SHEEP FLOCKS

Prof. Dr. Farrukh Saidov, Dilnoza Rahimova

Faculty of Veterinary Medicine, Tajik Agrarian University, Tajikistan

Abstract

Sheep ectoparasites inflict severe economic damage in Tajikistan's highland flocks, reducing wool quality by 40%. This study surveyed 1,500 animals across Sughd and Khatlon provinces, documenting Melophagus ovinus (32%), Psoroptes ovis (18%), and Culicoides spp. (22%). Microscopic identification confirmed sarcoptic mange in 12% cases. Deltamethrin pour-on achieved 94% ked mortality but resistance emerged (efficacy 62% after 6 months). Ethnoveterinary Artemisia sieberi extracts showed 78% efficacy against lice. Seasonal dynamics peaked during lambing (FEC 2,100 eggs/g). Nutritional stress amplified susceptibility (OR 3.2). Participatory dipping stations reduced prevalence by 51% in 40 communities. Economic analysis valued losses at 15% flock productivity. Genomic screening detected Wolbachia endosymbionts in 28% Culicoides. Integrated Pest Management combining botanicals, resistant breed selection (Hissar fat-rumped), and zero-grazing minimized acaricide use by 67%. Climate-resilient housing designs prevented winter mange outbreaks. These sustainable practices support Tajikistan's wool export ambitions while preserving biodiversity in Pamir-Alai hotspots.

Keywords: sheep ectoparasites, IPM, ethnoveterinary

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BRUCELLA MELITENSIS PREVALENCE IN TAJIKISTAN DAIRY GOATS

Dr. Manuchehr Nazarov, Gulnora Toshmatova, Sherali Ubaidulloev

Department of Epizootiology, Tajik National University, Tajikistan

Abstract

Brucellosis endemicity hampers Tajikistan's dairy goat sector, critical for rural nutrition. This serosurvey tested 3,100 serum samples from 200 villages using RBT, CFT, and ELISA, yielding 9.4% prevalence, highest in lactating does (16%). Isolation from 45 milk samples confirmed B. melitensis biovar 3. Milk Ring Test sensitivity reached 92%. Risk factors encompassed raw milk consumption (OR 5.6) and communal buck use (OR 4.1). Bayesian modeling estimated true prevalence at 11.2% (95% CrI 8.7-13.9%). Vaccination with Rev-1 reduced seropositivity by 73% over 18 months without abortion induction. Human cases correlated spatially with goat density (r=0.81). Genotyping via MLVA-16 identified Central Asian cluster Ia. One Health intervention vaccinated 12,000 animals, pasteurization units installed in 50 villages. Economic Internal Rate of Return projected 28% over 5 years. Surveillance networks linked veterinary-human health sectors, averting 450 annual human brucelloses. Test-and-slaughter economics optimized at 15% cut-off. Sustainable eradication roadmap integrates vaccination, biosecurity, and market-based incentives for pastoral communities.

Keywords: Brucella melitensis, goat brucellosis, One Health

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NOVEL NANOPARTICLE FORMULATIONS FOR ENHANCED BIOAVAILABILITY OF POORLY SOLUBLE ANTIFUNGAL DRUGS

Prof. Dr. Ion Lupu, Dr. Maria Cebotari, Andrei Popa

Faculty of Pharmacy, State University of Medicine and Pharmacy, Moldova

Abstract

The development of nanoparticle-based drug delivery systems addresses critical challenges in antifungal therapy, particularly for poorly water-soluble compounds like itraconazole. This study optimized solid lipid nanoparticles (SLNs) using hot homogenization followed by ultrasonication, incorporating itraconazole at 5% w/w loading with stearic acid as lipid matrix and Tween 80/Span 80 as stabilizers. Particle size characterization via dynamic light scattering yielded 120-180 nm with polydispersity index <0.25 and zeta potential -28 mV, ensuring colloidal stability. Encapsulation efficiency reached 92%, confirmed by HPLC analysis. In vitro release profiles in simulated gastric fluid demonstrated sustained release over 48 hours, achieving 85% drug liberation compared to 35% from free drug. Caco-2 cell permeability assays showed 3.2-fold enhancement in apparent permeability coefficient (Papp). Antifungal activity against Candida albicans exhibited MIC reduction from 1 μg/mL to 0.25 μg/mL. Stability studies at 4°C and 25°C maintained <5% drug leakage over 90 days. These SLNs offer superior therapeutic potential for systemic candidiasis, warranting pharmacokinetic evaluation in animal models. Scalable manufacturing aligns with GMP standards for clinical translation.

Keywords: solid lipid nanoparticles, itraconazole, antifungal delivery

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PHARMACOGNOSTIC EVALUATION AND STANDARDIZATION OF ENDANGERED MOLDOVAN MEDICINAL PLANTS

Assoc. Prof. Dr. Elena Rusu, Victor Melnic, Dr. Olga Straistari

Department of Pharmacognosy, Nicolae Testemitanu State University of Medicine and Pharmacy, Moldova

Abstract

Moldova's biodiversity harbors valuable medicinal plants facing overexploitation threats. This investigation standardized Hypericum perforatum and Thymus serpyllum sourced from Codru Hills through pharmacognostic profiling. Macro-microscopic examinations revealed characteristic glandular trichomes and hypericin crystals, validated by HPTLC fingerprints matching Ph. Eur. monographs. Quantitative microscopy determined 4.2% hypericin content via spectrophotometry at 560 nm and 1.8% essential oil yield by hydrodistillation. HPLC-DAD quantified quercetin glycosides at 2.15% w/w and thymol at 45% in volatile fraction. Antioxidant capacity via DPPH assay yielded IC50 values of 12.5 µg/mL for Hypericum extracts, surpassing ascorbic acid benchmark. Genotoxicity screening using Ames test confirmed mutagenicity absence up to 5000 µg/plate. Seasonal variation analysis (n=120 samples) identified June harvests optimal for bioactive accumulation. DNA barcoding via ITS and trnL-trnF regions authenticated species identity (99.8% similarity). Proposed pharmacopoeial standards include 0.2-0.3% hypericin minimum and microbial limits $<10^3$ CFU/g. Conservation strategies integrate sustainable wildcrafting quotas with in vitro propagation protocols, ensuring supply chain integrity for phytopharmaceutical industries.

Keywords: pharmacognosy, Hypericum perforatum, standardization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF ORALLY DISSOLVATING FILMS FOR PEDIATRIC ANTIHYPERTENSIVE THERAPY

Dr. Sergiu Costache, Natalia Gherasim, Prof. Dr. Valentina Vovc

Faculty of Pharmacy, Technical University of Moldova, Moldova

Abstract

Pediatric hypertension management suffers from compliance issues with conventional tablets. This research engineered orodispersible films (ODFs) containing amlodipine besylate (2.5 mg/dose) using hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) and pullulan matrices via solvent casting. Film thickness uniformity (80±5 μm) and disintegration time (<20 seconds) met Ph. Eur. criteria, assessed by texture analyzer and USP apparatus. Drug content uniformity was 98.2±1.4% (n=20), with in vitro dissolution achieving >85% release in 5 minutes under simulated saliva pH 6.8. Plasticizers (glycerol:PEG 400, 1:1) optimized mechanical strength (tensile strength 15 MPa) and folding endurance (>300 folds). Stability under ICH Q1A(R2) conditions maintained 97% assay at 40°C/75%RH for 6 months. Ex vivo permeation across porcine buccal mucosa demonstrated 2.8-fold flux enhancement versus oral solution. Palatability evaluation by 50 volunteers scored mint flavoring highly (8.2/10). Age-appropriate dosing flex (1.25-5 mg) accommodates 4-12 year olds per ESC guidelines. Manufacturing scalability via roll-to-roll processing supports commercial viability, potentially improving adherence by 40% in pediatric cohorts.

Keywords: orodispersible films, pediatric hypertension, amlodipine

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ETHANOBOTANICAL SURVEY AND ANTIMALARIAL ACTIVITY SCREENING OF INDONESIAN RAINFOREST PLANTS

Dr. Budi Santoso, Rina Wijaya, Assoc. Prof. Dr. Dewi Sartika

Faculty of Pharmacy, Gadjah Mada University, Indonesia

Abstract

Indonesia's 17,000 islands host unparalleled ethnopharmacological diversity. This study documented traditional antimalarial remedies from Kalimantan Dayak healers (n=120 informants, use value >0.7) and screened 45 plants via 96-well plate assays against Plasmodium falciparum 3D7 strain. Brucea javanica and Elaeocarpus grandiflorus extracts exhibited IC50 1.2±0.3 µg/mL and 2.8±0.5 µg/mL, surpassing chloroquine benchmark (IC50 0.05 µg/mL). Fractionation by bioassay-guided HSCCC yielded quassinoids (bruceine A, 15 mg/g) confirmed by LC-MS/MS (m/z 401.2 [M+H]+). Cytotoxicity against Vero cells showed selectivity index >120. In vivo 4-day suppressive test in P. berghei-infected mice (n=7/group) achieved 78% parasitemia inhibition at 50 mg/kg versus 65% for artesunate. Synergy with artemisinin (FIC index 0.32) suggests combination potential. HEMA-stained liver histopathology revealed reduced hemozoin accumulation. Field collections followed Nagoya Protocol with benefit-sharing agreements. Metabolomics profiling via UPLC-QTOF-MS identified 28 biomarkers correlating with antimalarial potency (R^2=0.89). These findings validate indigenous knowledge, supporting lead optimization for next-generation artemisinin partners amid resistance threats.

Keywords: ethnopharmacology, antimalarial, Brucea javanica

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FORMULATION AND EVALUATION OF MICROEMULSION-BASED TRANSDERMAL NICOTINE DELIVERY SYSTEMS

Prof. Dr. Agus Widodo, Siti Nurhaliza

Department of Pharmaceutics, Airlangga University, Indonesia

Abstract

Smoking cessation therapies require improved nicotine replacement systems. This investigation developed oleic acid-based microemulsions (ME) for transdermal delivery using Tween 80:Span 80 (3:1) and Transcutol P cosurfactant (Smix ratio 2:1). Pseudo-ternary phase diagrams identified 15% oil:60% Smix:25% water optimal composition forming spontaneous nanodroplets (DLS: 42±3 nm, PDI 0.18). Ex vivo permeation across rat skin achieved 8-fold flux enhancement (72.4 μg/cm²/h) versus hydroalcoholic gel, with 85% deposition in viable epidermis/dermis. FTIR confirmed stratum corneum lipid fluidization without barrier disruption. In vitro release followed zero-order kinetics (r^2=0.99). Accelerated stability (40°C/75%RH) maintained droplet size <10% variation over 6 months. Pharmacodynamic evaluation in nicotine-dependent rats showed 65% reduction in withdrawal symptoms versus 42% placebo. Viscosity (85 cP) enabled patient-friendly application. Scale-up to 100 L batch preserved physicochemical integrity. Comparative QbD optimization minimized surfactant use (Type IV ME), reducing irritation potential (primary dermal score 0.5). These MEs offer sustained nicotine delivery (24h patch equivalent), enhancing compliance for Indonesia's 70 million smokers.

Keywords: microemulsion, transdermal nicotine, smoking cessation

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BIOANALYSIS AND PHARMACOKINETIC MODELING OF TETRAHYDROCURCUMIN IN RATS

Dr. Prima Aulia, Hendra Susanto, Assoc. Prof. Dr. Lia Dwi

Faculty of Pharmacy, Padjadjaran University, Indonesia

Abstract

Tetrahydrocurcumin (THC), curcumin's principal metabolite, exhibits superior stability and bioavailability. A validated LC-MS/MS method quantified THC in rat plasma using dapson as IS (m/z 369.2→254.9 transition). Method linearity spanned 1-5000 ng/mL (r^2>0.999), precision <8% CV, accuracy 95-105%. Lower limit of quantification 1 ng/mL enabled microsampling. Following 100 mg/kg oral administration (n=6), THC exhibited rapid absorption (Tmax 0.75 h), Cmax 1852±342 ng/mL, and prolonged elimination (t½ 8.2 h). AUC0-∞ reached 12450 ng·h/mL, absolute bioavailability 28% versus IV 10 mg/kg (Cl 0.42 L/h/kg). PBPK modeling predicted human exposure (AUC 4500 ng·h/mL at 500 mg dose), incorporating CYP3A4-mediated metabolism. Tissue distribution favored liver (Cmax 4-fold plasma) and brain (penetration ratio 0.35), supporting neuroprotective claims. Food effect study showed high-fat meal increased AUC 1.8-fold. In vitro Caco-2 permeability (Papp 12×10^{-6} cm/s) and MDCK-MDR1 efflux ratio 1.9 confirmed passive diffusion with minor P-gp involvement. Population PK analysis identified body weight as significant covariate. These data inform clinical trial design for metabolic syndrome indications.

Keywords: tetrahydrocurcumin, pharmacokinetics, LC-MS/MS

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHESIS AND ANTIBACTERIAL EVALUATION OF NOVEL QUINOLINE-CARBAMATE HYBRIDS

Prof. Dr. Dimitrios Pappas, Dr. Eleni Markou, Kostas Theodorou

Faculty of Pharmacy, National and Kapodistrian University of Athens, Greece

Abstract

Multidrug-resistant Gram-negative pathogens necessitate novel antibacterial agents. This study synthesized 28 4-quinolone-3-carboxylic acid carbamate hybrids via Curtius rearrangement followed by nucleophilic addition with O-methylhydroxylamine. Compounds were characterized by NMR, HRMS, and X-ray crystallography confirming Z/E configurations. MIC screening against ESBL-producing Klebsiella pneumoniae and Acinetobacter baumannii revealed 5g (4-F-phenyl derivative) with MIC 2 μg/mL versus 64 μg/mL ciprofloxacin. Time-kill kinetics demonstrated bactericidal activity (>3 log reduction at 4×MIC). Fluorescence microscopy with DiSC3(5) evidenced membrane depolarization (60% potential loss). Synergy with colistin (FIC 0.31) restored susceptibility in CRAB isolates. In vivo efficacy in neutropenic mouse thigh model achieved 2.1 log bacterial burden reduction at 50 mg/kg BID versus 0.8 log control. ADME profiling showed metabolic stability (t½ >120 min in HLM), hERG IC50 >30 μM, and oral bioavailability 42%. QSAR modeling correlated lipophilicity (clogP 3.2-4.1) and H-bond acceptors with potency (r^2=0.87). SAR optimization prioritized 6,7-difluoro substitutions. These hybrids represent promising scaffolds for Gram-negative infections lacking innovation since 2009.

Keywords: quinolone hybrids, antibacterial agents, ESBL pathogens

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

LIPOSOMAL CO-DELIVERY OF DOXORUBICIN AND MRP1 SIRNA FOR OVARIAN CANCER THERAPY

Assoc. Prof. Dr. Sophia Kleanthous, Dr. Nikos Stavrou, Maria Liali

Department of Pharmaceutical Technology, Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Abstract

Ovarian cancer multidrug resistance via MRP1 overexpression limits doxorubicin efficacy. This study developed cationic liposomes co-encapsulating doxorubicin (DOX) and MRP1 siRNA using lipid film hydration and ethanol dilution. Liposomes (120 nm, PDI 0.16, ζ-potential +32 mV) achieved 95% DOX loading (DLI 8.2%) and siRNA entrapment 88% via RiboGreen assay. SKOV3 cell transfection silenced MRP1 by 72% (qPCR) within 48h, restoring DOX intracellular accumulation 3.8-fold (flow cytometry). Combination index 0.42 confirmed synergy. In 3D spheroid models, co-delivery reduced viability to 18% versus 52% DOX monotherapy. Clonogenic assays showed 92% colony inhibition. In vivo orthotopic xenografts (n=8/group) demonstrated 68% tumor growth inhibition at 2 mg/kg DOX equivalent versus 32% single agent, with 4/8 complete responses. Biodistribution favored peritoneal accumulation (tumor/plasma 12:1). H&E/tumor Ki67 staining confirmed reduced proliferation/apoptosis induction. PEGylation extended circulation t½ from 2.1h to 11.4h. Scale-up maintained batch reproducibility (RSD <5%). Immunogenicity screening showed no anti-liposome IgG response. These nanotherapeutics offer precision medicine potential for platinum-resistant ovarian cancer recurrence.

Keywords: liposomal co-delivery, MRP1 siRNA, ovarian cancer

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DESIGN AND OPTIMIZATION OF GaN-BASED HIGH-EFFICIENCY POWER AMPLIFIERS FOR 5G BASE STATIONS

Prof. Dr. Ali Rezaei, Dr. Sara Mahmoudi, Hamid Karimi

Faculty of Electrical Engineering, University of Tehran, Iran

Abstract

This research presents the design, fabrication, and performance evaluation of Gallium Nitride (GaN) High Electron Mobility Transistor (HEMT) based power amplifiers optimized for 5G sub-6 GHz base stations. A novel Doherty architecture with harmonic tuning achieves 52% drain efficiency at 7 dB back-off, delivering 45 dBm saturated power with 12 dB gain across 3.4-3.8 GHz. The amplifier employs a 50 W GaN device with customized input/output matching networks using lumped elements and microstrip lines. Load-pull measurements identified optimal impedances (15 + j8 Ω fundamental, 200 + j50 Ω second harmonic), validated through large-signal simulations showing ACPR below -45 dBc at 20 MHz LTE signal. Thermal management via copper-molybdenum substrates maintains junction temperature under 150°C at 50°C ambient. Compared to commercial LDMOS amplifiers, this design offers 30% higher efficiency and 15 dB better linearity. Field trials in Tehran demonstrate stable operation under varying temperatures (-10°C to 45°C). Future work includes mmWave extension and AI-based predistortion integration for massive MIMO applications. These advancements support Iran's 5G rollout, reducing energy consumption by 25% per base station.

Keywords: GaN amplifier, 5G base station, Doherty architecture

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MACHINE LEARNING ENABLED PREDICTIVE MAINTENANCE FOR INDUSTRIAL IoT SENSOR NETWORKS

Assoc. Prof. Dr. Mina Hosseini, Farzad Jalali, Dr. Leila Ahmadi

Department of Computer Engineering, Sharif University of Technology, Iran

Abstract

Industrial IoT networks face high failure rates due to harsh environments and sensor degradation. This study develops a hybrid LSTM-CNN framework for predictive maintenance of vibration and temperature sensors in petrochemical plants. Trained on 2.5 million data points from 500 nodes over 18 months, the model achieves 97.8% accuracy in predicting failures 72 hours in advance, outperforming SVM (89%) and random forests (92%). Feature extraction combines time-frequency spectrograms with statistical moments, processed through attention mechanisms capturing temporal dependencies. Deployment on edge devices reduces cloud dependency by 80%, with inference time under 5 ms. Cost-benefit analysis shows $1.2 million annual savings from 35% downtime reduction at Bandar Abbas refinery. Anomaly detection module identifies 92% of incipient faults missed by threshold methods. Scalability tested on simulated 10,000-node networks maintains 95% accuracy. The framework integrates with OPC UA standards for Industry 4.0 compatibility. Real-world validation confirms robustness against EMI and power fluctuations. This solution addresses Iran's industrial digital transformation goals, enhancing equipment uptime and safety in oil/gas sectors.

Keywords: predictive maintenance, IoT sensors, LSTM-CNN

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DEVELOPMENT OF FLEXIBLE ORGANIC THIN-FILM TRANSISTORS FOR WEARABLE HEALTH MONITORING

Dr. Amir Ghasemi, Nazanin Tavakoli

Faculty of Nanoengineering, Amirkabir University of Technology, Iran

Abstract

Flexible electronics enable continuous health monitoring through skin-conformable devices. This work demonstrates inkjet-printed OTFTs using DNTT semiconductor on PI substrates, achieving mobility of 2.1 cm^2/Vs and on/off ratio $>10^6$ at 1 V operation. Encapsulation with parylene-C ensures 5000-cycle bending durability (5 mm radius) and 6-month aqueous stability. Integration into a 4x4 sensor array detects ECG, respiration, and temperature with 98% accuracy against clinical gold standards. Machine learning calibration compensates 3% strain-induced drift. Power consumption below 50 μW supports coin-cell operation for 30 days. Fabrication yield exceeds 95% via optimized sintering (120°C, 10 min). Comparative analysis shows 40% higher mobility than evaporated counterparts at one-tenth cost. Human trials (n=25) validate comfort during sleep and exercise. Data transmission via Bluetooth LE to smartphones enables real-time arrhythmia detection (sensitivity 96%). This technology addresses Iran's growing telemedicine needs, particularly for cardiovascular monitoring in remote areas. Scalability through roll-to-roll printing targets mass production below $2/device.

Keywords: flexible OTFT, wearable sensors, health monitoring

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZATION OF MPPT ALGORITHMS FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS UNDER PARTIAL SHADING

Prof. Dr. Karim Belhocine, Dr. Samir Djarallah, Amina Zerhouni

Faculty of Electronics, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algeria

Abstract

Partial shading significantly reduces PV array efficiency in Saharan regions. This paper proposes a hybrid Particle Swarm Optimization-Fuzzy Logic MPPT controller achieving 98.7% tracking efficiency under 40% shading patterns, outperforming P&O (82%) and INC (89%). Implemented on TMS320F28335 DSP, the algorithm scans global MPP within 0.8 seconds using adaptive population size. Hardware-in-loop testing with 5 kW PV simulator validates performance across 10 shading profiles. Dynamic response recovers 95% power in 15 ms during sudden irradiance changes. Cost analysis shows 12% reduction versus commercial trackers. Field deployment at Ghardaïa (2000 kWh/m²/year) yields 18% annual energy gain over conventional methods. Thermal imaging confirms uniform module temperatures (<5°C gradient). Integration with lithium-iron-phosphate storage enables 85% self-consumption. The controller handles 100-1000 V strings and 1-50 kW scales. Software includes remote monitoring via MQTT protocol. This solution supports Algeria's 22 GW solar target by 2030, maximizing yield from existing 300 MW installations. Comparative studies confirm superiority in dynamic desert conditions.

Keywords: MPPT optimization, partial shading, PV systems

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DESIGN OF RECONFIGURABLE MIMO ANTENNAS FOR 5G MILLIMETER-WAVE HANDSETS

Assoc. Prof. Dr. Yacine Hadji, Mehdi Lounis

Department of Telecommunications, University of Tlemcen, Algeria

Abstract

mmWave 5G handsets require compact, high-gain MIMO antennas overcoming body loss and blockage. This design features four PIN-diode switched elements in 6x8 mm footprint, achieving 24.5 dBi peak gain at 28 GHz with 45° beam steering. Isolation exceeds 20 dB via neutralization lines and meta-surface decoupling. Envelope correlation coefficient remains below 0.1 across states. SAR measurements comply with ICNIRP limits (<1.6 W/kg). Fabrication on Rogers RT/duroid 5880 yields 9.2% bandwidth (24.5-26.9 GHz). Hand-grip tests show <2 dB degradation. Channel capacity reaches 28.4 bps/Hz in LOS scenarios. OTA testing per 3GPP confirms TRP >20 dBm. Pattern diversity reduces outage probability by 65%. The antenna integrates active cooling for PA efficiency. Simulation- measurement correlation exceeds 95%. This compact solution addresses Algeria's 5G pilot deployments in Algiers and Oran, supporting data rates >10 Gbps. Dual-band extension to n257/n258 bands planned.

Keywords: mmWave MIMO, reconfigurable antennas, 5G handsets

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FAULT-TOLERANT CONTROL STRATEGIES FOR DOUBLY-FED INDUCTION GENERATORS IN WIND FARMS

Dr. Fatima Bouziane, Nassim Cherif, Assis. Prof. Dr. Reda Mansouri

Faculty of Engineering Sciences, University of Batna, Algeria

Abstract

Rotor current sensor failures disrupt DFIG wind turbine operation. This study develops model-based fault detection and active tolerance using Extended Kalman Filter and Sliding Mode Observer, achieving 99.2% detection accuracy within 20 ms. Post-fault reconfiguration maintains 95% rated power during 30% sensor degradation. Validated on 2 MW RT-LAB platform simulating grid faults and icing conditions. Harmonic analysis shows THD <3% compliance with IEC 61400-21. Economic assessment indicates 8-year ROI from 4% annual energy gain. Field tests at Adrar wind farm confirm robustness under 50°C operation. The strategy handles open-circuit, bias, and drift faults simultaneously. Communication via Modbus TCP enables SCADA integration. Comparative evaluation outperforms Luenberger observers by 25% in estimation error. Adaptive gains prevent chattering. This technology enhances Algeria's 1000 MW wind capacity utilization, reducing curtailments by 12%. Hardware prototype consumes <1% auxiliary power. Scalable to 5 MW turbines.

Keywords: DFIG fault tolerance, wind energy, Kalman filtering

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

AI-OPTIMIZED ENERGY MANAGEMENT FOR SMART GRID MICROGRIDS IN ARID CLIMATES

Prof. Dr. Salim Al-Harthi, Dr. Nadia Al-Maskari, Khalid Al-Belushi

Department of Electrical Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

Abstract

Oman's desert climate demands intelligent microgrid management balancing solar intermittency and desalination loads. This deep reinforcement learning framework optimizes 5 MW hybrid PV-battery-diesel system, achieving 32% fuel savings and 98% renewable penetration. Trained on 3-year SCADA data using DDQN algorithm with prioritized experience replay, the controller outperforms rule-based systems by 18% in levelized cost ($0.045/kWh). Real-time pricing signals from PDO grid integrated via LSTM forecasting (MAPE 4.2%). Peak shaving reduces 25% demand charges. Cybersecurity features include anomaly detection blocking 99.7% attack vectors. HIL validation on OPAL-RT confirms 10 ms response time. Annual emissions cut by 420 tons CO2. The system manages 2 MW desalination priority loads uninterrupted. Scalability demonstrated for 50 MW clusters. Policy impact supports Oman Vision 2040 renewable targets. User interface enables remote dispatch. Hardware-in-loop includes actual PV inverters. This solution maximizes economic dispatch in high solar resource (2200 kWh/m²/year) environments.

Keywords: microgrid optimization, reinforcement learning, smart grids

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

LOW-POWER VLSI ARCHITECTURE FOR EDGE AI IN INDUSTRIAL IoT APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Fatima Al-Rashdi, Omar Al-Hinai, Dr. Mariam Al-Kindi

Faculty of Engineering, German University of Technology in Oman, Oman

Abstract

Edge AI deployment in IIoT requires ultra-low power processors. This 28 nm ASIC implements binarized neural network accelerator with 12.4 TOPS/W efficiency for predictive maintenance and anomaly detection. Sparse Winograd convolution reduces MAC operations by 3.2x versus dense kernels. Dynamic voltage-frequency scaling achieves 85% energy savings during idle states. On-chip SRAM hierarchy minimizes 95% off-chip accesses. Fault tolerance via TMR withstands SEU rates in industrial EMI environments. Benchmarking on MLPerf Tiny shows 4.2x speedup over ARM Cortex-M7 at 1/6th power (22 mW @ 500 MHz). CIFAR-10 accuracy 92.3% with 0.18 mm² area. PVT corners validated -40°C to 125°C. Integration with RISC-V core enables hybrid inference. Fabrication-ready GDSII generated with 98% DRC clean. Cost model predicts $0.8 million NRE for 1M units. This IP core accelerates Oman's Industry 4.0 transformation, targeting Duqm SEZ deployments. FPGA emulation confirms real-time performance on 1080p video streams.

Keywords: VLSI AI accelerator, edge computing, BNN architecture

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADVANCES IN FIXED POINT THEORY FOR NONLINEAR OPERATORS IN METRIC SPACES

Prof. Dr. Imran Khalid, Dr. Saira Javed, Adeel Rahman

Department of Mathematics, University of Punjab, Pakistan

Abstract

Fixed point theory plays a central role in nonlinear analysis, with applications ranging from differential equations to optimization. This study develops new fixed point results for nonlinear operators defined on generalized metric spaces equipped with weaker contraction conditions than the classical Banach framework. By introducing a hybrid contractive mapping that combines integral-type inequalities with control functions, we establish existence and uniqueness theorems that cover a wider class of operators, including those arising in fractional differential equations and iterative schemes. The approach unifies several existing results in the literature and clarifies the relationships among different contraction concepts. Examples illustrate how the new conditions guarantee convergence where traditional assumptions fail. In addition, we present a convergence analysis for Picard–Mann iterative processes under the proposed framework, providing explicit error estimates that are relevant for numerical methods. These findings contribute to the broader effort of extending fixed point techniques to more realistic models in applied sciences, where standard Lipschitz-type conditions are often too restrictive.

Keywords: fixed point theory, generalized metric spaces, nonlinear operators, iterative methods

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NUMERICAL SOLUTION OF FRACTIONAL DIFFERENTIAL EQUATIONS USING ADAPTIVE SPECTRAL METHODS

Dr. Huma Rashid, Assoc. Prof. Dr. Naveed Akhtar, Salman Jatoi

Faculty of Science, Quaid-i-Azam University, Pakistan

Abstract

Fractional differential equations have emerged as powerful tools for modeling memory and hereditary effects in physics, biology, and finance, yet their numerical treatment remains challenging. This work proposes an adaptive spectral method based on shifted Legendre polynomials combined with a time-stepping strategy tailored to fractional derivatives. The method constructs highly accurate approximations by dynamically refining the spectral basis in regions where the solution exhibits strong gradients or singular behavior near the origin. A stability and convergence analysis is provided under mild regularity assumptions, showing that the scheme maintains accuracy while controlling computational cost. Benchmark problems from anomalous diffusion and viscoelasticity demonstrate the method's efficiency compared to classical finite difference and finite element approaches. The adaptive mechanism significantly reduces degrees of freedom without sacrificing precision, making the algorithm suitable for large-scale simulations. The framework is flexible enough to incorporate different types of fractional operators, including Caputo and Riemann–Liouville derivatives, and can be extended to systems of equations and multidimensional domains.

Keywords: fractional differential equations, spectral methods, numerical analysis, adaptive algorithms

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MODELING EPIDEMIC SPREAD USING STOCHASTIC DIFFERENCE EQUATIONS ON RANDOM NETWORKS

Assis. Prof. Dr. Yasir Mehmood, Rabia Khan, Umer Siddiq

Department of Mathematics, University of Karachi, Pakistan

Abstract

Mathematical models of epidemic spread increasingly require the integration of randomness and network structure to capture real-world dynamics. This study develops a discrete-time stochastic model for infectious disease transmission on random contact networks, described by nonlinear difference equations perturbed by noise terms representing behavioral variability and environmental uncertainty. We analyze existence of disease-free and endemic equilibria and investigate their stability using tools from stochastic dynamical systems. Particular attention is given to how degree distribution, clustering, and network density influence thresholds for outbreak persistence. Simulation experiments on synthetic and data-driven networks reveal complex patterns, including stochastic extinction, recurrent outbreaks, and resonance-like responses to seasonal forcing. The model highlights the impact of targeted immunization and contact reduction on reducing effective reproduction numbers in heterogeneous populations. Our framework provides a mathematically rigorous yet computationally tractable approach for exploring intervention scenarios in public health, bridging theoretical analysis with data-informed simulation.

Keywords: stochastic difference equations, epidemic modeling, random networks, dynamical systems

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GLOBAL STABILITY ANALYSIS OF DELAYED NONLINEAR SYSTEMS USING LYAPUNOV–KRAŠOVSKII FUNCTIONALS

Prof. Dr. Aigul Serikbayeva, Daniyar Omirzak

Faculty of Mechanics and Mathematics, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Abstract

Time delays are intrinsic to many engineering and biological systems, often inducing oscillations and instability if not properly accounted for. This paper investigates global stability of nonlinear systems with discrete and distributed delays using Lyapunov–Krašovskii functional techniques. We construct a family of functionals tailored to capture the influence of both current and past states without imposing strict linearity or small-delay assumptions. New sufficient conditions for asymptotic and exponential stability are derived in terms of matrix inequalities and comparison principles that can be verified algorithmically. The proposed framework unifies separate stability criteria found in the literature and extends them to systems with mixed delays and uncertain parameters. Illustrative examples from population dynamics and control engineering demonstrate the practicality of the results and show how conservative bounds can be systematically reduced. These contributions provide a robust mathematical foundation for designing delay-tolerant controllers and for analyzing complex feedback systems encountered in modern technology and natural sciences.

Keywords: delay differential equations, Lyapunov–Krašovskii functional, global stability, nonlinear systems

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FINITE ELEMENT APPROXIMATION OF ELLIPTIC PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS ON IRREGULAR DOMAINS

Dr. Nurzhan Kaldybay, Assis. Prof. Dr. Aliya Zhaksylyqova, Asem Tuleubekova

Department of Applied Mathematics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan

Abstract

Elliptic partial differential equations frequently arise in steady-state diffusion, elasticity, and potential theory, yet their accurate numerical solution on irregular domains remains a technical challenge. This study presents a finite element framework for solving second-order elliptic problems on geometrically complex regions using unstructured meshes and higher-order basis functions. A mesh generation strategy based on Delaunay triangulation and local refinement is combined with error estimators that detect regions of steep gradients and singularities near corners or interfaces. We derive a priori and a posteriori error bounds under standard regularity assumptions, highlighting how mesh quality and polynomial degree influence convergence behavior. Several test problems, including heterogeneous media with discontinuous coefficients, illustrate the effectiveness of the approach. The method is implemented within an open-source environment, facilitating reproducibility and future extensions to three-dimensional domains. The results demonstrate that carefully designed finite element schemes can provide reliable and efficient approximations even when the underlying geometry departs significantly from idealized shapes.

Keywords: elliptic PDEs, finite element method, irregular domains, error estimation

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION NETWORKS USING GRAPH THEORY AND INTEGER PROGRAMMING

Assoc. Prof. Dr. Timur Akhmetov, Madina Sarsembayeva

School of Mathematics and Cybernetics, Kazakh-British Technical University, Kazakhstan

Abstract

Efficient transportation networks are essential for economic development and urban planning, motivating the integration of graph-theoretic models with modern optimization techniques. This paper formulates the design and improvement of road and public transit systems as a mixed integer programming problem defined on weighted graphs. Nodes represent locations and edges encode travel times, capacities, and construction costs. We introduce a multi-objective framework that balances total travel time, congestion reduction, and investment budget, using Pareto-optimality concepts to compare competing designs. Structural graph properties such as connectivity, centrality, and vulnerability are incorporated as constraints to ensure robustness against failures. A customized branch-and-bound algorithm with problem-specific cuts is proposed to handle large-scale instances. Case studies inspired by real urban layouts demonstrate how the method identifies critical links, suggests new routes, and evaluates the impact of infrastructure projects before implementation. The approach illustrates the power of mathematical optimization in guiding practical decision-making for sustainable and resilient transportation planning.

Keywords: graph theory, integer programming, transportation networks, optimization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SPECTRAL PROPERTIES OF SCHRÖDINGER OPERATORS WITH QUASI-PERIODIC POTENTIALS

Prof. Dr. Farhad Najafi, Maryam Dehghani

Department of Mathematics, University of Tehran, Iran

Abstract

The spectral analysis of Schrödinger operators with quasi-periodic potentials is central to understanding quantum systems exhibiting intermediate behavior between order and randomness. This work investigates one-dimensional operators defined on the real line with smooth quasi-periodic potentials generated by incommensurate frequencies. Using techniques from dynamical systems and functional analysis, we study the structure of the spectrum, focusing on regimes where it exhibits Cantor-like properties and transitions between absolutely continuous and singular components. We establish conditions under which localization or extended states dominate, drawing connections to the underlying rotation dynamics on high-dimensional tori. A key contribution is the derivation of regularity results for integrated density of states and its dependence on the arithmetic properties of the frequency vector. Applications to mathematical physics include insights into electron transport in quasi-crystals and engineered optical lattices. The results align with and extend classical models, providing a coherent framework that bridges rigorous spectral theory and physically observable phenomena.

Keywords: Schrödinger operator, quasi-periodic potential, spectral theory, localization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ALGEBRAIC GEOMETRY APPROACHES TO ERROR-CORRECTING CODES OVER FINITE FIELDS

Dr. Laleh Hosseini, Assoc. Prof. Dr. Reza Montazeri, Sina Rahimi

Faculty of Mathematical Sciences, Sharif University of Technology, Iran

Abstract

Algebraic geometry codes built from curves over finite fields form a rich class of error-correcting codes with parameters often surpassing classical constructions. This paper surveys and extends algebraic methods for constructing such codes using rational points on smooth projective curves and their associated divisor theory. We discuss the interplay between the genus, number of rational points, and achievable code length and minimum distance, emphasizing curves that attain or approach known upper bounds. New families of codes are constructed from fiber products of Artin–Schreier curves, yielding flexible trade-offs between rate and error-correcting capability. Efficient encoding and decoding algorithms are developed by exploiting the Riemann–Roch spaces and Gröbner basis techniques for related polynomial ideals. Examples illustrate how these codes can be tailored for modern communication systems requiring reliability and high throughput. The work highlights the continuing relevance of deep geometric ideas in the design of practical coding schemes for digital information transmission and storage.

Keywords: algebraic geometry codes, finite fields, error correction, algebraic curves

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NONLINEAR DYNAMICS AND CHAOS IN COUPLED MAP LATTICES WITH DELAYED FEEDBACK

Dr. Mehdi Karami, Assis. Prof. Dr. Neda Forouzan, Parham Jalili

Department of Applied Mathematics, Isfahan University of Technology, Iran

Abstract

Coupled map lattices provide a versatile framework for modeling spatially extended systems exhibiting complex temporal behavior, including turbulence, pattern formation, and spatiotemporal chaos. This study analyzes a class of one-dimensional coupled maps with nonlinear local dynamics and delayed feedback in the coupling term. By varying coupling strength, delay length, and nonlinearity parameters, we explore transitions from regular periodic patterns to chaotic regimes using bifurcation diagrams and Lyapunov exponent analysis. Particular emphasis is placed on how delayed interactions alter synchronization properties and lead to coexistence of ordered and disordered domains. Numerical experiments reveal rich dynamical phenomena such as chimera-like states and traveling defects. The mathematical insight gained from these simplified models sheds light on analogous mechanisms in physical and biological systems, including neural networks and reaction–diffusion processes with memory effects. The results demonstrate how relatively simple discrete-time equations can generate intricate behaviors, reinforcing the importance of nonlinear dynamics in understanding complex systems.

Keywords: coupled map lattice, chaos, delayed feedback, nonlinear dynamics

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GENETIC DIVERSITY AND CONSERVATION STRATEGIES FOR ENDANGERED HIMALAYAN MEDICINAL PLANTS IN INDIA

Prof. Dr. Rajesh Kumar, Dr. Priya Sharma, Amit Singh

Department of Botany, University of Delhi, India

Abstract

Himalayan biodiversity hotspots harbor invaluable medicinal plants facing severe threats from overexploitation and climate shifts. This study investigates genetic variability in Rhododendron arboreum and Swertia chirayita across Uttarakhand regions using ISSR and RAPD markers. Population structure analysis reveals distinct clusters reflecting altitudinal gradients, with southern slopes showing higher heterozygosity due to pollinator diversity. Gene flow estimates indicate fragmentation risks from road expansions, prompting ex-situ conservation protocols at regional gene banks. Metabolomic profiling confirms elevated bioactive compounds in high-altitude genotypes, validating traditional Ayurvedic uses. Habitat modeling predicts 30% range contraction by 2050 under RCP 4.5 scenarios, urging protected area expansions. Community-based cultivation programs integrating local healers preserve ethnobotanical knowledge alongside genetic resources. These findings establish baseline data for India's National Biodiversity Action Plan, emphasizing molecular tools for sustainable utilization in pharmaceutical development. Collaborative frameworks with international herbaria enhance long-term monitoring efficacy.

Keywords: genetic diversity, medicinal plants, Himalayan biodiversity, conservation genetics

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MICROBIAL BIOREMEDIATION POTENTIAL OF RHIZOSPHERIC BACTERIA IN ARSENIC-CONTAMINATED GROUNDWATER IN WEST BENGAL

Assoc. Prof. Dr. Neha Gupta, Vikram Joshi

Faculty of Life Sciences, Jadavpur University, India

Abstract

Arsenic contamination plagues groundwater in Bengal Delta, posing severe health risks through chronic exposure. This research isolates arsenic-resistant rhizospheric bacteria from rice paddies, characterizing Pseudomonas and Bacillus strains for bioremediation efficacy. Arsenite oxidation assays demonstrate As(III) to As(V) conversion rates exceeding chemical precipitants, coupled with biofilm formation enhancing soil retention. Metagenomic sequencing unveils ars operon prevalence, with novel efflux pumps conferring multi-metal tolerance. Pot experiments show 65% arsenic phytoextraction boost when inoculated with consortia, alongside improved rice yields mitigating food chain transfer. Enzyme kinetics reveal catechol 2,3-dioxygenase activity supporting organic pollutant co-degradation. Field trials at contaminated tubewells validate scalability, reducing soluble arsenic below WHO limits within 90 days. Integration with existing irrigation networks offers cost-effective alternatives to reverse osmosis. Policy recommendations advocate microbial inoculant standardization for national groundwater remediation programs, bridging microbiology with public health imperatives in arsenic-endemic regions.

Keywords: bioremediation, arsenic resistance, rhizospheric bacteria, groundwater pollution

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PHYTOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTICANCER ACTIVITY OF MARINE ALGAE FROM ANDAMAN ISLANDS

Dr. Anjali Patel, Sanjay Rao, Meera Desai

Department of Marine Biology, Annamalai University, India

Abstract

Andaman marine algae represent untapped reservoirs of bioactive metabolites with therapeutic potential. This investigation profiles secondary metabolites from Sargassum wightii and Caulerpa taxifolia, employing HPLC-MS for fucoxanthin, phlorotannins, and terpenoids identification. Cytotoxic assays against HeLa and MCF-7 cell lines reveal IC50 values in microgram ranges, surpassing synthetic analogs through apoptosis induction via caspase-3 activation. ROS scavenging correlates with Nrf2 pathway upregulation, mitigating chemotherapy side effects. In vivo xenograft models confirm tumor volume reduction without hepato-toxicity. Structural elucidation via NMR confirms novel halogenated diterpenes unique to coral reef habitats. Synergistic combinations with doxorubicin enhance efficacy, addressing multidrug resistance challenges. Sustainable harvesting protocols minimize ecological impacts on reef ecosystems. These marine natural products position India as bioprospecting leader, fueling blue biotechnology initiatives under national ocean policy frameworks while supporting coastal community livelihoods through value-added nutraceuticals.

Keywords: marine algae, anticancer compounds, apoptosis induction, Andaman biodiversity

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CRISPR/CAS9-MEDIATED GENOME EDITING FOR BLAST RESISTANCE IN RICE VARIETIES FROM CHINA

Prof. Dr. Li Wei, Zhang Hao, Dr. Chen Xiaoming

College of Life Sciences, Peking University, China

Abstract

Rice blast devastates yields across Asian rice bowls, demanding precise genetic interventions. This study employs CRISPR/Cas9 targeting Pi21 susceptibility gene in elite japonica cultivars, achieving 85% mutation efficiency through Agrobacterium-mediated transformation. Edited lines exhibit broad-spectrum resistance against Magnaporthe oryzae isolates, validated via detached leaf assays and field trials under natural infection pressures. Off-target analysis via whole-genome sequencing confirms specificity, preserving agronomic traits like heading date and grain quality. RNA-seq reveals downregulated effector-triggered immunity pathways compensating resistance gains. Heterozygous edits demonstrate partial dominance, facilitating hybrid vigor maintenance. Comparative phenotyping with RNAi lines underscores editing precision advantages. Intellectual property frameworks support commercial deployment through China's seed industry reforms. These advances bolster food security amid climate-variable pathogen evolution, establishing editable disease resistance modules for staple crop improvement across monocot species.

Keywords: CRISPR/Cas9, rice blast resistance, genome editing, Pi21 gene

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MITOCHONDRIAL GENOME DIVERSITY AND PHYLOGENETIC RELATIONSHIPS IN CHINESE ENDANGERED CRANE SPECIES

Assoc. Prof. Dr. Wang Mei, Liu Qiang

Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, China

Abstract

Crane populations in eastern China face habitat fragmentation threatening genetic viability. Complete mitochondrial genomes from red-crowned and Siberian cranes reveal hypervariable D-loop regions reflecting Pleistocene refugia divergence. Phylogenetic reconstructions using Bayesian methods resolve monophyletic clades separated by Yangtse barrier, with coalescent analyses estimating population bottlenecks during Last Glacial Maximum. Tajima's D neutrality tests indicate recent expansions post-habitat restoration. Nuclear microsatellite complements confirm low inbreeding despite small effective sizes. Metapopulation modeling predicts connectivity restoration via wetland corridors essential for gene flow. Conservation translocations guided by matrilineal lineages enhance outbreeding depression avoidance. Avian influenza surveillance integrates genomic surveillance for disease corridor mapping. These mitochondrial markers furnish forensic tools combating illegal trade, supporting CITES enforcement through China's national crane action plans prioritizing landscape-scale restoration synergies.

Keywords: mitochondrial DNA, crane phylogenetics, population genetics, conservation genomics

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

NANOPARTICLE-MEDIATED GENE SILENCING FOR PEST RESISTANCE IN COTTON CROPS

Dr. Zhao Ling, Sun Yujie, Assis. Prof. Dr. Huang Fei

School of Agriculture, China Agricultural University, China

Abstract

Fall armyworm invasions threaten cotton production across Belt and Road regions. Chitosan nanoparticles deliver dsRNA targeting chitin synthase gene, achieving 70% silencing efficiency through foliar sprays. Confocal microscopy confirms stomatal uptake and vascular translocation, sustaining RNAi effects over 21 days. Detached leaf bioassays demonstrate larval mortality exceeding chemical insecticides, with sublethal exposures disrupting ecdysis. Non-target screens across beneficial arthropods reveal selectivity profiles favoring IPM integration. Residue analysis confirms environmental degradability within regulatory limits. Greenhouse trials validate yield protection under high infestation regimes. Scalable nanocarrier formulations bypass transgenic regulatory hurdles, accelerating farmer adoption. Intellectual property licensing facilitates technology transfer to African cotton belts. Precision agriculture synergies through drone delivery optimize spatiotemporal applications, exemplifying nanotechnology's role in sustainable pest management paradigms.

Keywords: RNAi nanoparticles, cotton pest resistance, chitin synthase, nanobiotechnology

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES FOR PRODUCING HIGH-VALUE TERPENOIDS IN ENGINEERED YEAST FROM SINGAPORE

Prof. Dr. Tan Wei Ling, Dr. Lim Jia Hao, Sarah Ng

Department of Bioengineering, National University of Singapore, Singapore

Abstract

Terpenoid pharmaceuticals demand scalable microbial cell factories circumventing plant extraction limitations. Multi-gene pathways from Artemisia annua assemble in Saccharomyces cerevisiae chassis, optimizing mevalonate flux through promoter libraries and codon harmonization. Fed-batch fermentations achieve gram-per-liter titers of artemisinin precursors, surpassing semi-synthetic routes. Flux balance analysis guides cofactor engineering, resolving NADPH bottlenecks via transhydrogenase overexpression. Transcriptomic profiling identifies ribosomal limitations addressed through synthetic chromosome redesigns. Downstream purification integrates aqueous two-phase extraction, enhancing process economics. Preclinical pharmacokinetics confirm bioequivalence to native molecules. Regulatory dossiers support Investigational New Drug applications under Singapore's biotech incentives. Platform modularity extends to taxane and cannabinoid production, establishing yeast as universal terpenoid foundry supporting precision medicine initiatives across ASEAN pharmaceutical hubs.

Keywords: synthetic biology, terpenoid biosynthesis, yeast engineering, artemisinin production

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

METAGENOMIC ANALYSIS OF URBAN BEE MICROBIOMES AND POLLINATOR HEALTH IN TROPICAL SINGAPORE

Assoc. Prof. Dr. Koh Hui Min, Rajesh Kumar

School of Biological Sciences, Nanyang Technological University, Singapore

Abstract

Singapore's urban greening preserves stingless bee populations vital for tropical pollination services. Shotgun metagenomes from Apis cerana and Trigona species reveal core microbiomes dominated by Gilliamella and Snodgrassella, with novel Firmicutes reflecting equatorial diets. Functional annotation uncovers pesticide degradation pathways absent in temperate counterparts, correlating with urban pesticide exposures. Pathogen surveillance detects deformed wing virus variants, though probiotic consortia suppress replication through niche competition. Forage palynology links microbiome shifts to park monocultures versus community gardens. CRISPR screens validate Apidaecin production enhancing gut barrier functions. Citizen science sampling networks enable longitudinal monitoring across high-rise estates. Conservation implications advocate floral diversity mandates in Building and Construction Authority green standards. Therapeutic microbiome transplants offer colony-level interventions preserving pollination economies valued at millions annually in city-state agriculture.

Keywords: bee microbiome, metagenomics, urban pollinators, tropical biodiversity

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CRISPR-BASED EPIGENETIC EDITING FOR ENHANCING DROUGHT TOLERANCE IN OIL PALM

Dr. Lee Mei Ling, Prof. Dr. Zhang Wei, Chloe Tan

Yong Loo Lin School of Medicine, Duke-NUS Medical School, Singapore

Abstract

Oil palm plantations face intensifying El Niño droughts threatening Southeast Asian vegetable oil supplies. dCas9-SunTag systems target drought-responsive promoters in Elaeis guineensis mesocarp, inducing heritable methylation changes without DNA cleavage. Epialleles confer stomatal closure efficiency paralleling ABA signaling mutants, validated through gas exchange profiling under water deficit. Multi-omics integration reveals transgenerational stability across three progeny generations. Comparative epigenomics with date palm identifies conserved cis-regulatory elements amenable to multiplex editing. Field evaluations in Sumatra plantations demonstrate yield stability during 2023 drought episodes. Intellectual property licensing facilitates smallholder adoption through Malaysia-Singapore biotech corridors. Risk assessments confirm non-pleiotropic effects preserving fruit quality parameters. Regulatory pathways under Cartagena Protocol expedite commercial deployment, revolutionizing perennial crop resilience engineering paradigms.

Keywords: epigenetic editing, oil palm, drought tolerance, CRISPR activation

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GENETIC REGULATION OF NEURAL CREST CELL MIGRATION DURING EARLY VERTEBRATE EMBRYOGENESIS

Prof. Dr. Elena Petrova, Dr. Ivan Marinov, Kristina Dimitrova

Faculty of Biology, Sofia University "St. Kliment Ohridski", Bulgaria

Abstract

Neural crest cells are a transient, multipotent population essential for vertebrate craniofacial, cardiac and peripheral nervous system development. This study investigates how key transcription factors and signaling pathways coordinate neural crest cell specification and migration in early vertebrate embryos. Using a combination of in situ hybridization, CRISPR/Cas9-mediated gene perturbation and live imaging in a zebrafish model, we examined the roles of Sox10, Snail2 and Wnt signaling in orchestrating epithelial–mesenchymal transition and directed migration. Loss-of-function experiments disrupted migration streams and resulted in hypoplastic craniofacial structures and pigment cell defects, while modest pathway activation partially rescued abnormal phenotypes. Time-lapse confocal microscopy revealed that changes in gene expression alter cell polarity, protrusive activity and responsiveness to chemotactic cues. Our findings integrate molecular and cellular data to propose a refined model of how gene regulatory networks dynamically control neural crest behavior in vivo. These insights contribute to understanding the developmental origins of congenital malformations such as craniofacial dysostoses and neurocristopathies and may inform future strategies for regenerative therapies targeting neural crest–derived lineages.

Keywords: neural crest cells, gene regulation, craniofacial development, zebrafish

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EPIGENETIC CONTROL OF IMPRINTED GENES IN PREIMPLANTATION MAMMALIAN EMBRYOS

Assoc. Prof. Dr. Dimitar Nikolov, Milena Georgieva, Dr. Petar Vasilev

Faculty of Medicine, Medical University of Plovdiv, Bulgaria

Abstract

Genomic imprinting ensures parent-of-origin–specific gene expression and is particularly vulnerable during the extensive epigenetic reprogramming that characterizes preimplantation development. This work examines DNA methylation dynamics and histone modification patterns at selected imprinted loci in mouse and bovine embryos generated in vivo and in vitro. Using bisulfite sequencing and chromatin immunoprecipitation followed by quantitative analysis, we compared the maintenance of imprinting control regions under different culture conditions commonly used in assisted reproduction. Embryos generated in suboptimal media displayed partial loss of methylation and altered enrichment of histone marks associated with active and repressive chromatin states. These changes were accompanied by aberrant monoallelic expression of growth-regulating imprinted genes and increased frequency of morphological abnormalities at the blastocyst stage. Our results highlight a critical window during which environmental factors can destabilize imprinting, with potential long-term consequences for fetal growth and metabolic health. The study underscores the need to refine culture systems to better mimic the in vivo milieu and protect epigenetic integrity in clinical embryology.

Keywords: genomic imprinting, epigenetics, preimplantation embryos, assisted reproduction

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MOLECULAR MECHANISMS OF HEART FIELD PATTERNING IN EARLY CHICK EMBRYOS

Dr. Maria Stoyanova, Georgi Iliev, Assis. Prof. Dr. Desislava Koleva

Faculty of Natural Sciences, University of Plovdiv “Paisii Hilendarski”, Bulgaria

Abstract

Cardiac morphogenesis begins with specification and patterning of bilateral heart fields in the anterior lateral plate mesoderm, yet the genetic interactions guiding this process remain incompletely defined. In this study we use the chick embryo as an accessible vertebrate model to dissect the interplay between FGF, BMP and Notch signaling during early heart field formation. Targeted bead implantation and electroporation of reporter constructs allowed spatial and temporal modulation of pathway activity, while quantitative expression analysis identified downstream transcriptional responses involving Nkx2.5, Gata4 and Tbx family members. Perturbation of individual pathways produced distinct defects in heart tube formation, whereas combined manipulations revealed compensatory and synergistic effects shaping chamber identity and left–right asymmetry. Our data support a model in which graded signaling inputs integrate to refine cardiogenic territories and coordinate epithelial sheet movements underlying tube fusion. These insights provide a mechanistic framework for understanding human congenital heart defects arising from early patterning errors and suggest candidate signaling nodes for therapeutic modulation in cardiac tissue engineering.

Keywords: heart development, signaling pathways, chick embryo, cardiac patterning

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CRISPR-BASED CORRECTION OF MONOGENIC BLOOD DISORDERS IN HUMAN INDUCED PLURIPOTENT STEM CELL–DERIVED EMBRYOID BODIES

Prof. Dr. Li Wei, Dr. Zhang Rui, Chen Xiaoling

School of Life Sciences, Peking University, China

Abstract

Genome editing offers unprecedented opportunities to correct pathogenic variants at the stem cell level and model early developmental consequences of genetic disease. This study focuses on monogenic blood disorders, using human induced pluripotent stem cells reprogrammed from affected individuals and differentiated into three-dimensional embryoid bodies recapitulating early hematopoietic development. A CRISPR/Cas9 strategy was designed to precisely repair point mutations in a globin gene without introducing exogenous selection markers. Edited clones were extensively screened for on-target accuracy and potential off-target changes using deep sequencing. Corrected embryoid bodies demonstrated restored expression of functional globin transcripts and improved erythroid maturation compared with unedited controls, as assessed by flow cytometry, colony-forming assays and gene expression profiling. Furthermore, single-cell analyses revealed that early lineage specification programs and progenitor hierarchies normalized following genetic correction. These findings illustrate the value of embryoid body systems for evaluating the developmental impact of genome editing and highlight critical considerations for translating such approaches toward future autologous cell therapies for inherited hematological diseases.

Keywords: CRISPR/Cas9, induced pluripotent stem cells, embryoid bodies, blood disorders

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SINGLE-CELL TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF HUMAN BLASTOCYSTS TO MAP LINEAGE SEGREGATION

Dr. Wang Yifan, Assoc. Prof. Dr. Liu Mei, Zhao Chen, Tang Jiayi

Faculty of Reproductive Medicine, Fudan University, China

Abstract

Understanding how the first cell lineages diverge in the human blastocyst remains central to developmental biology and clinical embryology. In this project we applied single-cell RNA sequencing to individual cells isolated from surplus human blastocysts donated for research, aiming to construct a high-resolution transcriptional map of trophectoderm, epiblast and primitive endoderm. Clustering analyses identified distinct gene expression signatures defining each lineage, including novel transcription factors and signaling modulators not previously associated with early human development. Pseudotime reconstruction suggested progressive transitions from pluripotent inner cell mass cells toward epiblast and primitive endoderm fates, with signaling pathways such as FGF, Hippo and Nodal exhibiting stage-specific activity patterns. Comparison with mouse datasets revealed both conserved core networks and human-specific regulatory features. The resulting atlas provides a valuable reference for assessing the quality of in vitro cultured embryos and for optimizing conditions for stem cell derivation. It also raises important ethical considerations regarding the use of human embryos in research and the potential application of these insights to embryo selection in assisted reproduction.

Keywords: human blastocyst, single-cell RNA sequencing, lineage specification, pluripotency

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FUNCTIONAL ANALYSIS OF HOX GENE CLUSTERS IN VERTEBRAL COLUMN PATTERNING USING ZEBRAFISH MODELS

Prof. Dr. Zhang Hui, Lin Qiang

College of Life Sciences, Zhejiang University, China

Abstract

The vertebral column provides a segmented axial framework, with regional identity largely governed by conserved Hox gene clusters. This study employs zebrafish as a genetically tractable vertebrate model to dissect how combinatorial Hox gene expression patterns translate into distinct vertebral morphologies. Using targeted mutagenesis and transgenic reporter lines, we systematically altered expression domains of selected Hox paralogs and examined resulting skeletal phenotypes through high-resolution micro–computed tomography and cartilage staining. Disruption of specific posterior Hox genes led to homeotic transformations, including altered rib attachment and shifts in boundary positions between trunk and tail regions. Transcriptomic analyses of presomitic mesoderm and differentiating sclerotome identified downstream effectors involved in extracellular matrix organization and ossification. Our results support a model in which overlapping Hox codes encode positional information that is interpreted by tissue-specific transcriptional programs to shape vertebral architecture. These findings have implications for understanding congenital vertebral malformations and developing evolutionary hypotheses on axial diversity among vertebrates.

Keywords: Hox genes, vertebral patterning, zebrafish, axial skeleton

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GENETIC BASIS OF NON-SYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE IN AZERBAIJANI FAMILIES: A WHOLE-EXOME APPROACH

Prof. Dr. Leyla Mammadova, Dr. Rashad Aliyev, Aygun Ismayilova

Faculty of Medicine, Azerbaijan Medical University, Azerbaijan

Abstract

Non-syndromic cleft lip and palate are among the most common congenital malformations and impose substantial medical and social burdens in Azerbaijan. This study investigates the genetic architecture underlying familial cases using whole-exome sequencing in multiplex pedigrees recruited from diverse regions of the country. After rigorous variant filtering and segregation analysis, we identified rare, likely pathogenic variants in known craniofacial genes as well as candidate genes not previously implicated in orofacial development. In silico modeling and available functional annotations suggest that many variants disrupt pathways involved in facial prominence growth, extracellular matrix remodeling and cell adhesion. Integration of genetic data with detailed clinical phenotyping revealed genotype–phenotype correlations and highlighted potential modifiers influencing defect severity and laterality. Our findings broaden the spectrum of genes associated with non-syndromic cleft lip and palate and underscore the genetic heterogeneity of the condition. The study provides a foundation for developing population-specific genetic counseling strategies and for designing functional studies to validate newly identified candidate genes in experimental models.

Keywords: cleft lip and palate, whole-exome sequencing, congenital malformations, Azerbaijan

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CHARACTERIZATION OF MITOCHONDRIAL DNA VARIANTS IN EARLY EMBRYONIC DEVELOPMENT AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON IMPLANTATION

Dr. Kamala Huseynli, Assoc. Prof. Dr. Elvin Rahimov

Faculty of Biology, Baku State University, Azerbaijan

Abstract

Mitochondrial function is critical for supporting the energetic demands of early embryogenesis, yet the contribution of mitochondrial DNA variation to developmental competence remains poorly defined. In this study we analyzed mitochondrial genomes from human cleavage-stage embryos and corresponding blastocysts generated during routine assisted reproduction cycles. High-throughput sequencing allowed assessment of heteroplasmy levels and identification of variants affecting mitochondrial genes involved in oxidative phosphorylation. We correlated mitochondrial profiles with embryo morphology, developmental progression and clinical implantation outcomes. Embryos with elevated heteroplasmy or potentially deleterious variants showed a tendency toward slower cleavage rates, increased fragmentation and reduced likelihood of successful implantation. Bioinformatic modeling suggested compromised respiratory chain efficiency in affected embryos. While causality cannot be fully established, the data support the hypothesis that mitochondrial genomic integrity contributes to embryo viability. These findings raise the possibility of incorporating mitochondrial assessments into comprehensive embryo evaluation protocols and call for further functional studies in model organisms to elucidate mechanisms by which mitochondrial defects influence early development.

Keywords: mitochondrial DNA, embryo development, implantation, heteroplasmy

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ROLE OF WNT SIGNALING IN PRIMORDIAL GERM CELL SPECIFICATION IN A MURINE EMBRYONIC STEM CELL MODEL

Assis. Prof. Dr. Nigar Aliyeva, Murad Kazimov, Dr. Samir Guliyev

Faculty of Biological Sciences, Khazar University, Azerbaijan

Abstract

Primordial germ cells give rise to the gametes and thus ensure transmission of genetic information across generations, yet the signaling events guiding their early specification are still being elucidated. This study uses a murine embryonic stem cell differentiation system to model germ cell induction and dissect the contribution of Wnt signaling. By modulating pathway activity with specific agonists and inhibitors during defined windows of differentiation, we monitored expression of germ cell markers and pluripotency genes using quantitative molecular assays and flow cytometry. Enhanced Wnt signaling during early mesodermal stages promoted the emergence of cells expressing key germline determinants, whereas prolonged activation impaired subsequent maturation, indicating a narrow temporal window of permissive signaling. Conversely, excessive inhibition diminished germ cell–like cell yield and favored somatic fates. Our findings suggest that precise tuning of Wnt activity is essential for balancing germline and somatic lineages during early development. These insights have implications for improving protocols to generate functional gamete precursors in vitro and for understanding infertility disorders linked to early germ cell specification defects.

Keywords: primordial germ cells, Wnt signaling, embryonic stem cells, germline development

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BYZANTINE INFLUENCES ON BULGARIAN MEDIEVAL CHURCH ARCHITECTURE IN THE 10TH-12TH CENTURIES

Prof. Dr. Ivan Petrov, Dr. Maria Stoyanova, Dimitar Georgiev

Faculty of Architecture, Sofia University St. Kliment Ohridski, Bulgaria

Abstract

Byzantine architectural traditions profoundly shaped Bulgarian medieval churches during the First and Second Bulgarian Empires, blending Eastern Orthodox aesthetics with local adaptations. This study examines key monuments like the Boyana Church and Bachkovo Monastery through detailed planimetric analysis, revealing characteristic cross-in-square layouts modified with Bulgarian narthex expansions to accommodate communal rituals. Decorative programs featuring fresco cycles demonstrate sophisticated synthesis of Constantinopolitan models with Slavic iconography, evident in the unique Pantocrator depictions emphasizing national sainthood. Structural innovations included reinforced barrel vaults resisting seismic activity prevalent in the Balkan region, achieved through judicious limestone sourcing from Rhodope quarries. Comparative evaluation with Serbian and Macedonian counterparts highlights Bulgaria's pivotal role as a cultural transmitter between Byzantium and Central Europe. Restoration challenges persist due to 20th-century overpainting; digital photogrammetry offers non-invasive documentation solutions. Contemporary architects draw sustainable lessons from natural ventilation systems integrated within thick masonry walls. Preservation strategies must balance tourism pressures with authentic material conservation, positioning these sites as living laboratories for vernacular Byzantine heritage in modern Europe.

Keywords: Byzantine architecture, Bulgarian churches, medieval frescoes

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OTTOMAN MOSQUE DESIGN EVOLUTION IN BULGARIAN CITIES DURING THE 16TH-18TH CENTURIES

Assoc. Prof. Dr. Elena Dimitrova, Krasimir Ivanov

Department of Architecture, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Bulgaria

Abstract

Ottoman architectural imprint transformed Bulgarian urban landscapes through strategically placed mosques serving as community focal points. This research traces morphological evolution from early Beylerbey mosques in Sofia to later neighborhood camiis in Plovdiv, identifying progressive shifts from centralized domed plans to elongated prayer halls accommodating growing Muslim populations. Minaret typologies evolved from slender Seljuk-inspired shafts to robust Balkan variants with muqarnas galleries enhancing visual dominance over Orthodox churches. Decorative tilework imported from Iznik workshops juxtaposed local woodcarving traditions in mahfils, creating hybrid aesthetic vocabularies. Hydraulic engineering marvels included multi-level ablution fountains fed by qanat systems navigating hilly terrains. Post-liberation conversions into museums preserved intricate muqarnas stalactites, though seismic retrofitting poses ongoing challenges. Urban planning analysis reveals deliberate spatial hierarchies reinforcing imperial authority through axial alignments toward Istanbul. Modern adaptive reuse projects demonstrate multifunctional potential blending cultural tourism with contemporary community functions, informing sustainable heritage management across post-Ottoman Balkans.

Keywords: Ottoman mosques, Balkan architecture, urban morphology

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

BRUTALIST CONCRETE ARCHITECTURE AND ITS SOCIO-POLITICAL CONTEXT IN SOCIALIST BULGARIA

Dr. Stefan Nikolov, Assis. Prof. Dr. Anna Petrova, Radoslav Todorov

Faculty of Architecture, Technical University of Varna, Bulgaria

Abstract

Bulgaria's socialist era produced distinctive brutalist structures embodying ideological aspirations through monumental concrete expressions. This investigation analyzes landmark projects like Buzludzha Monument and National Palace of Culture, dissecting exposed aggregate finishes and precast panel systems reflecting industrial capacity achievements. Spatial organizations prioritized collective rituals over individual comfort, evident in expansive assembly halls and hierarchical circulation patterns symbolizing party supremacy. Material innovations addressed seismic vulnerabilities through post-tensioned frames and shear wall configurations adapted from Soviet prototypes. Contextual reading reveals deliberate landscape manipulations creating artificial plateaus emphasizing human conquest over nature. Current dilapidation crises stem from deferred maintenance; participatory conservation strategies engage younger generations through adaptive reuse competitions. Comparative study with Yugoslavian counterparts underscores Bulgarian fidelity to Moscow aesthetics versus regional experimentation. Educational programs integrating these structures into design curricula foster critical appreciation of politically-charged architectural heritage, challenging dominant narratives privileging pre-socialist periods.

Keywords: brutalism, socialist architecture, concrete monuments

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ISLAMIC GEOMETRIC PATTERNS IN ALGERIAN SAADIAN MOSQUE DECORATION SYSTEMS

Prof. Dr. Ahmed Belkacem, Fatima Zohra Hamdi

Faculty of Architecture, University of Algiers, Algeria

Abstract

Saadian-era mosques in Algeria exemplify sophisticated Islamic geometric ornamentation synthesizing Fatimid muqarnas with Andalusian girih principles. Detailed survey of Sidi Abderrahmane mosque reveals octagonal star patterns evolving through recursive subdivision techniques generating infinite visual depth within finite surfaces. Mathematical analysis decodes underlying tessellations employing sqrt(2) irrational proportions facilitating harmonious scaling across multiple registers. Color symbolism integrates cobalt blues symbolizing divine infinity against gilded backgrounds evoking celestial realms. Constructional logic embedded geometric rigor within load-bearing masonry, with voussoir arrangements mirroring planimetric symmetries. Cross-cultural exchanges with Moroccan contemporaries evident in shared zellij vocabulary adapted to local cedar woodcarving traditions. Contemporary digital fabrication revives these techniques for museum installations, though artisan apprenticeship decline threatens knowledge transmission. Conservation priorities target salt efflorescence damage through poultice applications preserving mathematical integrity essential to spiritual efficacy. These patterns offer timeless lessons in sustainable ornament transcending cultural boundaries.

Keywords: Islamic geometry, Saadian architecture, muqarnas decoration

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FRENCH COLONIAL VILLA TYPOLOGIES AND CLIMATIC ADAPTATION IN ALGERIAN COSTAL CITIES

Assoc. Prof. Dr. Nadia Cherif, Karim Mansouri

Department of Architecture, Polytechnic School of Algiers, Algeria

Abstract

French colonial villas in Algiers and Oran ingeniously adapted Mediterranean prototypes to Saharan climatic extremes through sophisticated passive environmental strategies. Planimetric analysis reveals deep loggias and cross-ventilating patios creating shaded microclimates reducing indoor temperatures by strategic solar exclusion. Elevated foundations and perimeter arcades facilitated underfloor airflow while thick pisé walls provided thermal mass buffering diurnal swings. Ornamental ironwork screened southern exposures without compromising views toward Baie d'Alger. Spatial hierarchies reflected settler ideologies with service wings segregated from reception salons. Post-independence transformations into ministerial residences preserved formal gardens originally importing Provençal flora ill-suited to local hydrology. Current restoration debates balance historical authenticity against energy performance upgrades. Comparative study with Moroccan ville nouvelle developments highlights Algerian emphasis on elevated massing combating coastal humidity. Lessons inform contemporary bioclimatic design addressing climate change vulnerabilities through revival of proven indigenous strategies overlaid with modern materials.

Keywords: colonial architecture, climatic adaptation, Algerian villas

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

POST-WAR JAPANESE METABOLISM MOVEMENT AND URBAN GROWTH STRUCTURES IN TOKYO

Prof. Dr. Hiroshi Tanaka, Dr. Aiko Nakamura, Kenji Sato

Faculty of Architecture, University of Tokyo, Japan

Abstract

Japanese Metabolist architects envisioned dynamic urban growth systems responding to post-war reconstruction imperatives through modular megastructures. Kenzo Tange's Tokyo Plan 1960 proposed linear city infrastructure accommodating population surges via interchangeable capsule units. Structural engineering innovations employed mega-columns supporting suspended platforms enabling phased vertical expansion without disrupting underlying circulation. Circulatory metaphors permeated spatial organization with elevated walkways functioning as urban capillaries distributing human flows efficiently. Material experimentation included experimental concrete finishes anticipating weathering patinas symbolizing temporal flux. Nakagin Capsule Tower exemplifies radical impermanence philosophy through replaceable dwelling pods theoretically facilitating technological upgrades. Critical reevaluation confronts lifecycle realities as capsules face obsolescence dilemmas. Contemporary discourse explores metabolic principles for disaster-resilient planning amid frequent seismic threats. Digital simulations revive capsule hotel typologies for temporary housing scenarios post-earthquake. Legacy influences parametric urbanism seeking organic adaptability within rigid zoning constraints.

Keywords: Metabolism, megastructures, Japanese urbanism

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

TRADITIONAL JAPANESE TEMPLE CARPENTRY AND SEISMIC RESILIENCE PRINCIPLES

Dr. Yumi Kobayashi, Taro Yamamoto, Assis. Prof. Dr. Mika Fujimoto

Department of Architecture, Kyoto University, Japan

Abstract

Japanese temple carpentry masters intricate joinery systems conferring extraordinary seismic performance through flexible structural behavior. Analysis of Horyu-ji Kondo reveals interlocking bracket complexes distributing lateral forces through progressive deflection rather than rigid resistance. Mortise-tenon connections employ tapered geometries ensuring tight fits under compression while permitting micro-movements during tremors. Cypress timber selection optimizes strength-to-weight ratios with heartwood durability resisting fungal decay over millennia. Roof configurations with sweeping eaves create dynamic mass distribution counterbalancing vertical loads against horizontal accelerations. Reconstruction records document empirical refinements following historical earthquakes, incrementally enhancing redundancy. Contemporary finite element modeling validates traditional proportions outperforming modern rigid frames in extreme shaking tables. Conservation philosophy emphasizes minimal intervention preserving kinetic equilibrium essential to original performance logic. Educational workshops transmit vanishing dovetail techniques to new generations confronting industrialized standardization. Sustainable forestry initiatives secure future hinoki supplies maintaining unbroken material traditions supporting irreplaceable cultural landscapes.

Keywords: Japanese carpentry, seismic resilience, temple architecture

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ZEN GARDEN DESIGN PRINCIPLES AND SPATIAL PERCEPTION IN KYOTO TEMPLE LANDSCAPES

Assoc. Prof. Dr. Satoshi Ikeda, Reina Suzuki

Faculty of Design, Tokyo Institute of Technology, Japan

Abstract

Zen dry landscape gardens cultivate profound perceptual experiences through meticulously composed voids and borrowed scenery. Ryoan-ji karesansui exemplifies fifteen rocks arranged evoking infinite configurations through strategic visual occlusions guiding contemplative progression. Raked gravel simulates water currents frozen in perpetual motion, embodying impermanence doctrines through maintenance rituals. Scale manipulation employs foreground boulders contrasting distant mountain silhouettes creating spatial ambiguity dissolving boundaries between artifice and nature. Seasonal foliage modulation ensures continuous transformation preventing visual satiation. Neuroarchitectural studies confirm alpha wave enhancement during garden immersion supporting meditative states. Digital reconstructions simulate viewer trajectories optimizing rock placement efficacy. Contemporary landscape architects adapt ma (negative space) principles for urban pocket parks addressing biophilic deficiencies in dense metropolises. Conservation tensions balance accessibility improvements against authentic experiential purity. Cross-cultural applications inform therapeutic garden design for dementia facilities leveraging spatial memory triggers embedded within archetypal compositions.

Keywords: Zen gardens, karesansui, perceptual psychology

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INTEGRATED WASTEWATER TREATMENT STRATEGIES FOR NUTRIENT REMOVAL IN BULGARIAN MUNICIPAL PLANTS

Prof. Dr. Petar Dimitrov, Dr. Elena Todorova, Ivan Kolev

Faculty of Environmental Engineering, University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Bulgaria

Abstract

Bulgarian municipalities face increasing pressure to comply with European Union nutrient discharge standards while operating aging wastewater treatment plants. This study evaluates the performance of integrated biological and physico-chemical treatment strategies for nitrogen and phosphorus removal in three representative municipal facilities. A combination of enhanced biological nutrient removal, optimized aeration control, and selective chemical dosing was assessed over different seasonal and hydraulic loading conditions. Results indicate that flexible operation of anoxic and aerobic zones, coupled with real-time monitoring of dissolved oxygen and oxidation-reduction potential, substantially improves nutrient removal without major capital upgrades. The role of sludge age management and internal carbon sources is discussed in relation to denitrification efficiency, particularly during low-temperature periods common in Bulgarian winters. The research further analyzes operational costs, energy consumption, and sludge production to propose realistic optimization pathways for small and medium-sized municipalities. Findings support a phased transition approach that prioritizes process control upgrades and staff training before extensive infrastructural investments, providing a practical roadmap for meeting tightening regulatory limits under constrained budgets.

Keywords: nutrient removal, wastewater treatment, process optimization, Bulgaria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ASSESSMENT OF URBAN AIR QUALITY AND TRAFFIC-RELATED POLLUTION IN SOFIA USING LOW-COST SENSOR NETWORKS

Assoc. Prof. Dr. Maria Stoyanova, Georgi Angelov,

Faculty of Civil Engineering, University of Structural Engineering and Architecture "Lyuben Karavelov", Bulgaria

Abstract

Rapid motorization in Sofia has intensified concerns about urban air quality and exposure to traffic-related pollutants. This study deploys a dense network of low-cost sensors to monitor particulate matter and gaseous pollutants along major road corridors and residential zones. Data from portable and stationary nodes are calibrated against reference-grade monitoring stations to ensure reliability. Spatial and temporal analysis reveals pronounced morning and evening peaks near congested intersections, with pollutant plumes extending into adjacent residential areas under specific meteorological conditions. The research highlights the capacity of low-cost technologies to capture fine-scale pollution patterns that traditional networks often miss. Community co-location of sensors near schools and playgrounds further exposes children's vulnerability and informs risk communication strategies. The study discusses data assimilation into urban planning, including prioritization of low-emission zones, improved public transport corridors, and green buffer design. Policy recommendations emphasize integrating citizen science initiatives with municipal monitoring systems to create a more transparent and responsive air quality management framework for Sofia.

Keywords: urban air quality, low-cost sensors, traffic emissions, Sofia

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EVALUATION OF RIVER WATER QUALITY AND ECOSYSTEM HEALTH IN THE MARITSA BASIN UNDER AGRICULTURAL PRESSURE

Dr. Kristina Ivanova,

Faculty of Ecology and Landscape Architecture, University of Forestry, Bulgaria

Abstract

The Maritsa River basin is a critical water resource in Bulgaria but faces chronic pressure from intensive agriculture and diffuse pollution. This study combines physicochemical water quality assessment with biological indicators to evaluate ecosystem health along selected river stretches. Regular sampling campaigns measure nutrients, organic load, and pesticide residues, while benthic macroinvertebrate communities are analyzed to derive biotic indices reflecting long-term ecological status. Results show spatial gradients in pollution, with downstream sections exhibiting reduced biodiversity and dominance of tolerant species. The analysis links land-use patterns, fertilizer practices, and inadequate buffer zones to observed degradation trends. Particular attention is given to seasonal dynamics, highlighting peak contaminant levels during irrigation and runoff periods. The study proposes targeted measures such as riparian restoration, controlled fertilizer application, and farmer education programs to mitigate impacts. By integrating chemical and biological perspectives, the research offers a robust framework for river basin management, aligning national policies with European water directives and promoting sustainable agricultural practices in the Maritsa catchment.

Keywords: river water quality, agricultural pollution, ecosystem health, Maritsa basin

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SOLID WASTE MANAGEMENT CHALLENGES AND INFORMAL RECYCLING PRACTICES IN ALGERIAN MEDIUM-SIZED CITIES

Prof. Dr. Ahmed Benyamina, Dr. Laila Boudjema, Samir Chikhi

Faculty of Environmental Sciences, University of Tlemcen, Algeria

Abstract

Medium-sized cities in Algeria often lack comprehensive solid waste management systems, resulting in uncontrolled dumping and low recycling rates. This study investigates existing waste management practices and the role of informal recyclers in two representative cities. Field surveys, stakeholder interviews, and waste composition analyses provide a detailed picture of collection coverage, disposal methods, and material recovery. Findings reveal that informal actors play a substantial role in diverting recyclable materials, particularly plastics, metals, and cardboard, yet operate without recognition, social protection, or integration into municipal planning. The research examines health and safety risks, economic drivers, and social stigmas surrounding this sector. Policy scenarios are developed to explore how formalizing and supporting informal recyclers through cooperatives, training, and basic infrastructure could enhance recycling performance while improving livelihoods. The study advocates for decentralized waste strategies that combine improved municipal services with inclusive circular economy approaches, aligning environmental objectives with social equity and job creation in Algerian urban contexts.

Keywords: solid waste management, informal recycling, circular economy, Algeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN COASTAL ALGERIAN AQUIFERS

Dr. Rachida Amrani, Assoc. Prof. Dr. Mourad Sellami

Faculty of Earth and Environmental Sciences, University of Oran 1, Algeria

Abstract

Coastal aquifers in Algeria are increasingly threatened by overexploitation, seawater intrusion, and pollution from industrial and agricultural activities. This study assesses groundwater vulnerability in a representative coastal aquifer using a combination of hydrogeological characterization and index-based vulnerability mapping. Geological, hydrological, and land-use data are integrated to identify zones most susceptible to contamination from surface sources. Field investigations include water-level measurements, hydrochemical analysis, and evaluation of nitrate and chloride concentrations as indicators of anthropogenic impact and salinization. The resulting vulnerability maps highlight critical recharge areas and regions where intensive agriculture and industrial facilities overlap with sensitive hydrostratigraphic units. The study further discusses how climate variability and sea-level rise may exacerbate existing pressures. Recommendations focus on establishing protection zones, regulating well drilling, and promoting sustainable irrigation practices to reduce contaminant loading. The findings provide decision-makers with a practical tool for prioritizing management interventions and safeguarding drinking water resources in Algeria's coastal regions.

Keywords: groundwater vulnerability, coastal aquifer, contamination risk, Algeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION WITH ENERGY RECOVERY IN JAPANESE CITIES

Prof. Dr. Hiroshi Nakamura, Dr. Yuki Tanaka, Ayumi Sato

Faculty of Environmental Engineering, University of Tokyo, Japan

Abstract

Japan relies heavily on municipal solid waste incineration with energy recovery as a core element of its waste management strategy. This study conducts a life cycle assessment of typical urban incineration plants to evaluate environmental burdens and benefits associated with electricity and heat generation. System boundaries include waste collection, combustion, flue gas treatment, residue handling, and energy distribution. The analysis compares different emission control technologies and bottom ash management options, examining their influence on greenhouse gas emissions, air pollutants, and resource use. Results highlight the importance of high-efficiency energy recovery and advanced air pollution control in offsetting environmental impacts relative to landfilling scenarios. Sensitivity analyses explore the effects of varying waste composition and recycling rates, demonstrating trade-offs between material recovery and energy production. The study also considers public perception and policy frameworks that shape technology choices in Japanese municipalities. Conclusions emphasize the need to integrate life cycle thinking into future facility planning, ensuring that waste-to-energy contributes effectively to low-carbon urban development.

Keywords: life cycle assessment, waste-to-energy, incineration, Japan

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

URBAN STORMWATER MANAGEMENT AND GREEN INFRASTRUCTURE APPLICATIONS IN TOKYO RESIDENTIAL DISTRICTS

Dr. Keiko Suzuki, Assis. Prof. Dr. Masato Fujii, Rina Kobayashi, Takumi Mori

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Tokyo Institute of Technology, Japan

Abstract

Intensifying rainfall events and extensive impervious surfaces in Tokyo's residential districts create growing challenges for urban stormwater management. This study evaluates the potential of green infrastructure solutions, including rain gardens, permeable pavements, and green roofs, to mitigate runoff volumes and improve water quality at neighborhood scale. Hydrological modeling of selected districts is combined with pilot implementation data from demonstration sites to assess performance under varying storm scenarios. Results indicate that strategically distributed green infrastructure can substantially reduce peak flows and delay runoff, thereby alleviating pressure on conventional drainage networks. Water quality measurements show reductions in sediments and common urban pollutants in treated runoff. The research also examines social acceptance, maintenance needs, and regulatory barriers that influence widespread adoption. By integrating engineering performance with socio-economic considerations, the study proposes a framework for incorporating green infrastructure into Tokyo's existing stormwater management policies and zoning regulations, contributing to climate-resilient and livable urban environments.

Keywords: stormwater management, green infrastructure, urban runoff, Tokyo

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZATION OF ENERGY-EFFICIENT AERATION SYSTEMS IN BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT PLANTS IN JAPAN

Dr. Kenji Yamamoto, Prof. Dr. Naoko Ishikawa

Faculty of Environmental and Urban Engineering, Osaka Metropolitan University, Japan

Abstract

Aeration is one of the most energy-intensive processes in biological wastewater treatment, making it a key target for efficiency improvements in Japanese treatment plants. This study investigates the optimization of aeration systems through a combination of field measurements, process modeling, and control strategy evaluation in several full-scale facilities. Different diffuser configurations, blower types, and control schemes are analyzed to understand their influence on oxygen transfer efficiency, process stability, and energy consumption. The research highlights the benefits of real-time control based on online monitoring of dissolved oxygen and ammonia, enabling dynamic adjustment of airflow to actual process needs. Seasonal variations, diurnal load patterns, and influent characteristics are taken into account to design robust control algorithms. The study also addresses practical considerations such as retrofitting constraints, operator training, and maintenance demands. Overall, the findings demonstrate that targeted aeration optimization can significantly reduce operational costs and carbon footprint while maintaining or improving treatment performance, supporting Japan's broader goals for sustainable urban infrastructure.

Keywords: aeration optimization, wastewater treatment, energy efficiency, Japan

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH

Wang Teh
Dr. Chin Lee
Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Singapore, Singapore

Abstract
Rockfall events pose significant hazards in mountainous and steep terrain areas, making understanding their motion characteristics crucial for risk mitigation and infrastructure protection. This study introduces a statistical simulation framework to analyze the trajectories, velocities, and travel distances of individual rockfall events using Monte Carlo methods combined with field-measured parameters. Data from a series of monitored rockfalls in a highly fractured mountainous region were used to calibrate the simulation model. The results capture the inherent variability and uncertainty in rockfall behavior arising from differences in rock size, slope geometry, and surface conditions. Key motion characteristics such as bouncing frequency, rolling distance, and resting angles were statistically quantified, revealing patterns useful for hazard prediction. Sensitivity analyses highlight the dominant factors affecting rockfall runout and impact energies. The model offers a practical tool for engineers and planners to estimate rockfall hazard zones and design protective structures. The paper discusses how integrating statistical approaches with deterministic modeling improves the reliability of rockfall risk assessments. Future work aims to extend the model to include climate-related triggers and material weathering effects.

Keywords: rockfall simulation, statistical modeling, hazard assessment, Monte Carlo methods, geohazards

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA

Assis. Prof. Anthony Ademeso Odunyemi
Department of Geology, Obafemi Awolowo University, Nigeria

Abstract

The Akure area in southwestern Nigeria hosts a complex assemblage of charnockitic and granitic rocks whose origin and petrogenetic relationships have implications for regional tectonics and mineral exploration. This study combines detailed field mapping with petrographic analyses to elucidate the textural, mineralogical, and structural characteristics of these rocks. Samples collected from key outcrops were examined under polarized microscopy and compared with field observations regarding lithology, foliation patterns, and structural deformation. The results indicate distinct differences in mineral content and crystallization history between charnockitic and associated granitoid bodies, suggesting multiple magmatic and metamorphic events. Petrographic signatures such as quartz and feldspar morphology, presence of orthopyroxene, and alteration features provide insights into the metamorphic grade and cooling history. Structural correlations underscore the influence of regional deformation phases on rock fabric. These findings contribute to understanding the geodynamic evolution of the Nigerian basement complex and support exploration strategies for high-grade metamorphic terrains. The paper highlights the value of integrated field and laboratory studies in deciphering the geological history of complex metamorphic provinces.

Keywords: charnockite, granite, petrography, Akure, Nigerian basement complex

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES

Yuxin Gama
Institute of Geophysics, Chinese Academy of Sciences, China

Qingyun Chen Di
School of Earth Sciences, Peking University, China

Abstract

The Controlled-Source Audio-frequency Magnetotelluric (CSAMT) method is a valuable geophysical technique for imaging subsurface rock structures and identifying concealed tectonic features critical to engineering and mineral exploration projects. This paper presents case studies demonstrating CSAMT applications in two geologically complex areas characterized by faulted and fractured rock masses. High-resolution resistivity models reconstructed from CSAMT data reveal variations in lithology, fracture zones, and fluid pathways that are often undetectable by traditional geophysical methods. The investigations successfully delineated fault locations, lithological boundaries, and potential zones of weakness that could affect construction stability or resource extraction. Interpretation was supported by complementary geologic and geotechnical information, reinforcing the reliability of CSAMT surveys. These case studies showcase the method's capacity to resolve intricate subsurface structures in challenging environments, improve hazard assessments, and guide engineering designs. The paper advocates for wider adoption of CSAMT in rock mass characterization and discusses best practices for data acquisition and processing.

Keywords: CSAMT, rock mass structure, tectonic features, geophysical survey, resistivity imaging

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS

Abdulrahman Abdulrahman
Department of Hydraulic Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

Abstract
Understanding water surface profiles along side weirs in complex channel geometries is essential for effective hydraulic design and flood management. This research develops a unified mathematical equation describing steady-state water surface profiles along side weirs in channels combining trapezoidal and exponential cross-sectional shapes. The study derives the equation from principles of open channel flow and energy conservation, incorporating flow resistance, weir discharge characteristics, and channel geometry parameters. Analytical and numerical solutions are presented, validated against experimental data from laboratory flume tests. The unified equation accurately predicts water levels and flow distributions along various channel configurations, improving over previous empirical formulas limited to simpler geometries. Sensitivity analyses illustrate the effects of channel slope, weir length, and flow rate on the water surface profile. Practical implications for designing efficient spillway systems and urban drainage channels are discussed. The approach enhances hydraulic modeling capabilities in complex natural and engineered waterways and can be extended to transient flow scenarios in future research.

Keywords: water surface profile, side weir, hydraulic modeling, trapezoidal channel, exponential channel

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY CHANGES: GRACE OBSERVATIONS VERSUS FINITE-FAULT MODEL PREDICTIONS FOR THE 2012 MW = 8.6 INDIAN OCEAN EARTHQUAKE OFF-SUMATRA

Dr. Rahim Amin
Geophysics and Remote Sensing Department, Bandung Institute of Technology, Indonesia

Abstract
Large-magnitude earthquakes cause measurable co-seismic perturbations in Earth's gravity field, detectable by satellite gravimetry missions such as GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment). This study performs a comparative analysis between observed co-seismic gravity changes from GRACE measurements and theoretical predictions from finite-fault models for the 2012 Mw 8.6 Indian Ocean earthquake off the coast of Sumatra. Satellite data spanning the earthquake period were processed to extract gravity anomalies, which were then compared with modeled gravity changes based on the earthquake's seismic slip distribution and fault geometry. Results demonstrate good agreement in spatial patterns and magnitudes, validating the finite-fault approach in representing mass redistribution during seismic events. Discrepancies are discussed in the context of noise, temporal resolution, and model simplifications. This research enhances understanding of the coupling between seismic processes and geodetic measurements and supports improved earthquake source characterization. Findings have applications in geophysical hazard assessment and monitoring of tectonic mass movements using satellite gravimetry.

Keywords: co-seismic gravity, GRACE, finite-fault model, Indian Ocean earthquake, satellite gravimetry

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS

Polat Inci
Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Turkey

Hasan Develioglu
Institute of Soil Mechanics, Istanbul Technical University, Turkey

Abstract
Organic dredged sediments represent a significant geotechnical challenge due to their heterogeneous composition and complex consolidation behavior, which impact their suitability for reclamation and construction purposes. This study assesses the physical, mechanical, and compression characteristics of organic sediments obtained from major dredging operations in coastal and riverine environments. Laboratory testing includes particle size analysis, Atterberg limits, oedometer consolidation tests, and shear strength measurements. Results highlight the distinct compressibility and strength reduction associated with organic content and degree of decomposition. The investigation identifies key parameters influencing sediment behavior such as organic matter percentage, moisture content, and sediment age. The findings aid in developing predictive models for settlement and stability of structures founded on or constructed with dredged materials. Recommendations for improving sediment handling and reuse strategies in engineering projects are discussed. This research provides essential data for designing safe and sustainable dredging and reclamation projects in areas with organic-rich sediments.

Keywords: organic sediments, geotechnical properties, compression behavior, dredging, soil mechanics

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD

Arii Yudhaprasetya
Department of Petroleum Engineering, Institut Teknologi Bandung, Indonesia

Ario Agus
Center for Offshore Engineering, Diponegoro University, Indonesia

Guritno Setiawan
Faculty of Mechanical Engineering, University of Indonesia, Indonesia

Recky Supriatna Tehupuring Cosmas
Department of Chemical Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Indonesia

Abstract
Enhancing oil production efficiency in offshore fields is critical for sustaining energy supplies and economic viability. This case study evaluates the implementation of ejector technology in the North West Java offshore field to optimize reservoir output and manage gas-lift challenges. Operational data before and after ejector installation were analyzed to quantify improvements in production rates, pressure profiles, and equipment reliability. The ejector system improved gas handling capacity, reduced operational costs, and enhanced liquid recovery by boosting wellhead pressure and stabilizing flow regimes. The study discusses design parameters, installation procedures, and integration with existing infrastructure. Sensitivity analyses identify optimal ejector configurations and operational settings tailored to reservoir characteristics. The findings demonstrate significant benefits in boosting oil production and extending field life, contributing to improved resource management. Lessons learned from this project inform best practices for ejector applications in similar offshore environments globally.

Keywords: ejector technology, offshore production, reservoir optimization, gas lift, petroleum engineering

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS

Aigerim Zhanbota
Department of Civil Engineering, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Nurlan Abilov
Institute of Geotechnical Engineering, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Aruzhan Kassenova
Department of Environmental Engineering, KIMEP University, Almaty, Kazakhstan

Abstract
This study examines how surface scalping affects the geotechnical behavior—specifically the strength and deformation properties—of granular soils typically found in construction and infrastructure projects. Surface scalping, a technique used to remove the uppermost soil layers including loose or unsuitable material, is widely practiced to improve foundation conditions. Laboratory tests including triaxial compression, direct shear, and consolidation tests were conducted on both scalped and unscalped granular soil samples collected from various sites in Kazakhstan. The results reveal that scalping enhances soil density and reduces void ratios, leading to increased shear strength and reduced compressibility. Deformation characteristics such as settlement under load also exhibited significant improvements in scalped samples. These findings emphasize the importance of surface preparation in ground improvement efforts and provide quantitative data to inform engineering design. Additionally, the study discusses how soil particle size distribution and mineralogical composition interact with scalping effects. The practical implications suggest that proper surface scalping can mitigate risks of excessive settlement and slope failures, ensuring better performance of foundations and earthworks. This research contributes to geotechnical engineering by highlighting an effective soil treatment technique and its influence on granular soil mechanics in semi-arid and steppe environments. Future work may extend these findings to other soil types and climatic regions.

Keywords: surface scalping, granular soils, shear strength, soil deformation, geotechnical engineering

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Faridah Binti Mohamad
Department of Civil Engineering, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Dr. Ahmad Faizal
Institute of Environmental Science, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia

Abstract

Rockfalls pose significant hazards in mountainous regions, threatening infrastructure, human safety, and ecological systems. This research presents a comprehensive statistical modeling and simulation framework to analyze rockfall dynamics on steep slopes commonly found in Southeast Asia. Data from field observations, historical records, and remote sensing were integrated to characterize rockfall frequency, magnitude, and trajectories. Various stochastic models, including Poisson processes and Monte Carlo simulations, were developed to predict rockfall occurrence and impact zones under different terrain and climatic conditions. Model validation was performed using case study data from the Cameron Highlands and Genting Highlands regions. Results demonstrate the effectiveness of probabilistic approaches in capturing the complexity and unpredictability of rockfalls. Furthermore, the study explores mitigation strategies by simulating the effect of barrier systems and slope stabilization measures. The proposed models facilitate risk assessment and land-use planning by providing quantitative estimates of rockfall hazards and their spatial distribution. This interdisciplinary approach combining geology, statistics, and engineering informs sustainable development in vulnerable mountainous landscapes. Future research directions include coupling climate change projections with geohazard modeling to anticipate evolving rockfall risks.

Keywords: rockfall dynamics, statistical modeling, mountainous terrain, hazard simulation, geohazards

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA

Dana Sadykova
Department of Geology, University of Lagos, Nigeria

Mohd Hafiz Bin Ismail
Faculty of Earth Sciences, University of Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

This paper details a comprehensive petrological and field investigation of charnockitic and granitic rock formations located in Southwestern Nigeria. The study aims to elucidate the mineralogical composition, textural characteristics, and tectonic history of these rocks to better understand regional geological evolution. Fieldwork involved mapping and sample collection, followed by laboratory petrographic analysis using thin-section microscopy, X-ray diffraction, and geochemical assays. Results indicate that the charnockitic rocks exhibit coarse-grained textures dominated by orthopyroxene and feldspar, suggesting high-grade metamorphic conditions. The associated granitic formations display varied intrusive relationships and compositional zoning consistent with multiple magmatic pulses. Structural analysis reveals deformation features indicative of tectono-metamorphic events related to the Pan-African orogeny. The integration of petrographic and structural data supports a model of crustal reworking involving partial melting and magmatic differentiation. Findings contribute to the broader understanding of Precambrian basement complexes in West Africa and provide insights relevant to mineral exploration and tectonic reconstructions. The study highlights the significance of combined field and laboratory approaches in unraveling complex geological histories.

Keywords: charnockitic rocks, granitic formations, petrography, tectonic history, Southwestern Nigeria

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA

Nurul Afiqah
Department of Geophysics, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia

Ahmad Zulkifli
Institute of Earth Sciences, Universiti Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

The Controlled-Source Audio-Frequency Magnetotellurics (CSAMT) technique has emerged as a powerful geophysical method for imaging subsurface resistivity distributions, especially useful in tectonically complex areas. This paper presents case studies applying CSAMT surveys across several Southeast Asian regions characterized by intricate fault systems and variable lithologies. The CSAMT data were processed using robust inversion algorithms to create high-resolution resistivity models that reveal fault geometries, fracture zones, and sedimentary basin structures. Results demonstrate the capacity of CSAMT to delineate subsurface features otherwise obscured by conventional methods, aiding in the identification of zones susceptible to seismic activity and fluid migration pathways. Detailed analysis reveals correlations between resistivity anomalies and known tectonic features, supporting interpretation reliability. The use of CSAMT enhances geological understanding, which is vital for resource exploration and seismic hazard assessment. The paper also discusses technical challenges and strategies for optimizing data acquisition in tropical environments with high cultural noise. This study underscores the value of CSAMT as a complementary geophysical tool in Southeast Asian tectonics research and encourages its wider application in similar settings globally.

Keywords: CSAMT, tectonic structures, geophysical imaging, Southeast Asia, resistivity inversion

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS

Assist. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov
Department of Hydraulic Engineering, Nazarbayev University, Nur-Sultan, Kazakhstan

Dr. Zhanar Kazybekova
Institute of Water Problems and Hydropower, Kazakhstan National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

Abstract
This paper focuses on the development and analysis of mathematical models to describe water surface profiles in open channels featuring combinations of trapezoidal and exponential cross-sectional shapes. Open channel flows with complex geometries present significant challenges for hydraulic design and flood management. The study employs the standard gradually-varied flow equations, incorporating channel geometry functions specific to trapezoidal and exponential sections. Analytical and numerical methods were utilized to solve the governing equations, enabling precise predictions of water surface elevations under varying flow conditions. Model validation was conducted using experimental data and field measurements from irrigation canals in Central Asia. The models provide engineers with reliable tools to optimize channel designs, predict flood levels, and improve water conveyance efficiency. Moreover, sensitivity analyses highlight the influence of channel slope, roughness, and flow discharge on water profile behavior. The research contributes to the broader field of hydraulic engineering by extending solution methodologies to hybrid channel configurations commonly encountered in agricultural and urban water management systems. Future work may consider transient flow conditions and sediment transport coupling.

Keywords: water surface profiles, open channel flow, trapezoidal channels, exponential channels, hydraulic modeling

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE

Siti Nur Aisyah
Mohd Faizal
Department of Geophysics, University of Malaysia

Abstract

This study presents a comprehensive comparative analysis of co-seismic gravity variations associated with the 2012 Sumatra earthquake. Utilizing data from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite mission alongside finite-fault seismic models, the research aims to better understand the gravity field changes induced by the earthquake event. The GRACE data provide large-scale temporal gravity field observations, which reveal mass redistributions within the Earth's crust caused by seismic activity. Finite-fault models, incorporating detailed rupture mechanics and fault geometry, offer estimates of ground displacement and crustal deformation. The integration of these two approaches enables the validation and refinement of geophysical models for earthquake-induced mass movement. The study compares spatial and temporal patterns of gravity anomalies detected by GRACE with those predicted by finite-fault simulations, highlighting areas of agreement and discrepancy. Results demonstrate that while GRACE data effectively capture broad gravity variations over the epicentral region, finite-fault models provide higher resolution insights into rupture dynamics and fault slip distribution. The research discusses the implications for seismic hazard assessment and geodynamic studies, emphasizing the value of combining satellite gravimetry with advanced modeling techniques. It contributes to improving the understanding of earthquake processes and offers prospects for enhanced monitoring of co-seismic effects in complex tectonic settings.

Keywords: co-seismic gravity, GRACE satellite, finite-fault models, Sumatra earthquake

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS

Ayanbek Nurmagambetov
Rashidah Binti Ahmad
Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Malaysia

Abstract

This paper investigates the geotechnical characteristics and compressibility behavior of organic-rich dredged sediments collected from coastal regions of Malaysia. Dredged sediments typically exhibit complex properties due to the presence of organic matter which significantly influences soil strength, compressibility, and settlement behavior. The study focuses on detailed laboratory testing including grain size distribution, plasticity index, organic content, consolidation, and compressibility parameters. Special attention is given to the influence of organic content on the sediment's mechanical response under loading. Results reveal that higher organic content correlates with increased compressibility and lower shear strength, which pose challenges for engineering applications involving dredged material reuse or disposal. The research compares compressibility profiles under various loading conditions and evaluates settlement predictions for reclaimed coastal areas. Findings highlight the necessity for site-specific geotechnical assessment to ensure the stability and performance of infrastructures built on or with dredged sediments. This work provides crucial data for coastal engineering projects and supports sustainable sediment management practices in tropical maritime environments.

Keywords: geotechnical properties, organic sediments, compressibility, Malaysian coast

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD

Zhanar Mukanova
Nurul Huda
Department of Petroleum Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia

Abstract

This research explores the optimization of offshore hydrocarbon production through the application of ejector technology in the Northwest Java oil and gas field. Ejectors serve as multiphase pumping devices that utilize fluid dynamics to enhance well production by reducing bottom-hole pressure without requiring mechanical moving parts. The study analyzes operational data, design parameters, and fluid characteristics to evaluate ejector performance and its impact on production efficiency. A simulation model incorporating thermodynamic and hydraulic principles is developed to estimate optimum operating conditions and ejector configurations tailored to the field's reservoir properties. Results demonstrate that ejectors significantly increase production rates by improving lift capabilities and managing pressure drawdown effectively. The research addresses challenges such as choking, instability, and energy consumption, proposing design improvements and control strategies. Economic and environmental benefits are also assessed, emphasizing ejector technology as a cost-effective and reliable solution for mature offshore fields facing production decline. This study contributes to the advancement of enhanced oil recovery techniques and provides practical recommendations for integrating ejectors into offshore production systems.

Keywords: ejector technology, offshore production, Northwest Java, production optimization

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

OPTIMIZATION OF TWO-STAGE BIOGAS PRODUCTION IN BIOFILM REACTORS

Dr. Samuel Karanja
Department of Environmental Engineering, University of Nairobi, Kenya

Abstract

Biogas production is a sustainable method for renewable energy generation that harnesses organic waste materials. This study focuses on optimizing the two-stage biogas production process using biofilm reactors, which enhance microbial activity and improve gas yield. The two-stage system separates hydrolysis/acidogenesis and methanogenesis phases, allowing better control over each stage and increased biogas efficiency. Various operational parameters, including temperature, pH, substrate loading rate, and hydraulic retention time, were systematically varied to determine their effects on biogas output and composition. Experimental results from pilot-scale biofilm reactors showed significant improvements in methane content and biogas volume when optimal conditions were maintained. The use of biofilms improved microbial retention and stability, reducing process inhibition commonly experienced in conventional reactors. Furthermore, the study demonstrated that staged degradation reduces volatile fatty acid accumulation and enhances system resilience to fluctuating feedstock qualities. Modeling and simulation techniques were employed to predict system performance under different operating scenarios, providing a framework for scale-up and industrial application. This research contributes valuable insights to the field of anaerobic digestion and highlights biofilm reactors as promising technology for efficient biogas production using organic wastes. The findings support the development of more sustainable waste-to-energy technologies with economic and environmental benefits.

Keywords: biogas production, biofilm reactors, two-stage anaerobic digestion, methane optimization, renewable energy

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ENHANCING NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL FROM LIVESTOCK WASTEWATER USING ZEOLITE AND IONIZING RADIATION

Dr. Min-Jae Kim
Department of Environmental Science and Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), South Korea

Abstract

The effective removal of nitrogen and phosphorus from livestock wastewater is critical to prevent eutrophication and environmental contamination. This study investigates a novel combined approach utilizing zeolite adsorption and ionizing radiation treatment to enhance nutrient removal efficiencies. Zeolite minerals offer high cation exchange capacities conducive to ammonium adsorption, while ionizing radiation breaks down organic matter, facilitating nutrient release and enhancing bioavailability for adsorption. Laboratory batch experiments assessed the removal efficiencies of ammonia nitrogen and phosphate ions under varying dosages of zeolite and ionizing radiation levels. Results demonstrated a synergistic effect where pretreatment with ionizing radiation significantly increased nitrogen and phosphorus uptake by zeolite. Kinetic analyses revealed rapid adsorption rates, making the process feasible for real-time wastewater treatment. Additionally, the treated wastewater showed reduced biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD), indicating effective organic pollutant reduction. This integrated technique offers a promising, environmentally friendly alternative for nutrient management in intensive animal farming operations, minimizing downstream impacts on aquatic ecosystems. The study also discusses practical considerations for scaling the process and optimizing energy consumption during radiation application for field deployment.

Keywords: nitrogen removal, phosphorus removal, zeolite adsorption, ionizing radiation, wastewater treatment

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EFFECTS OF CRUDE OIL PARTICLE ELASTICITY ON HYDROCYCLONE SEPARATION PERFORMANCE

Dr. Carlos Mendoza
Department of Chemical Engineering, University of São Paulo, Brazil

Abstract

The separation of oil-water mixtures using hydrocyclones is a widely applied technology in the petroleum industry. However, the mechanical properties of crude oil particles, especially elasticity, significantly influence separation efficiency. This study examines how variations in crude oil droplet elasticity affect the performance of hydrocyclone separators. Using emulsified crude oil samples with controlled elastic moduli, experiments were conducted to measure separation efficiency, cut size, and pressure drop across hydrocyclones. The results indicate that more elastic droplets exhibit greater deformation under shear forces, leading to increased coalescence and improved separation. Computational fluid dynamics (CFD) simulations complemented experimental data by visualizing flow patterns and particle trajectories inside the hydrocyclone. Findings reveal that optimal operating conditions depend on balancing centrifugal and elastic forces to enhance phase separation without compromising throughput. This research provides valuable insights for designing and operating hydrocyclones tailored to specific crude oil properties, improving separation efficiency and reducing process costs. The implications extend to improved water treatment in oil production and refining processes.

Keywords: hydrocyclone, crude oil elasticity, oil-water separation, emulsions, petroleum processing

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INFLUENCE OF OPERATIONAL PARAMETERS ON CALCIUM CARBONATE SCALE FORMATION IN PLATE HEAT EXCHANGERS

Assoc. Prof. Dr. Anongrat Chaiyaporn
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, Thailand

Abstract

Calcium carbonate scaling in plate heat exchangers poses significant operational challenges, including heat transfer reduction and increased maintenance costs. This study systematically investigates the influence of key operational parameters such as inlet water temperature, flow velocity, and supersaturation levels on scale formation rates. Laboratory-scale experiments utilizing real process fluids were designed to simulate industrial conditions. Scale deposits were characterized through scanning electron microscopy (SEM) and X-ray diffraction (XRD) to analyze their morphology and crystalline structure. Results indicate that higher temperatures and lower flow velocities accelerate calcium carbonate nucleation and growth, leading to more severe scaling. Moreover, operational parameters affect the scale adhesion and detachment tendencies, impacting cleaning intervals. A predictive model based on thermodynamic and kinetic principles was developed to estimate scale formation under varying conditions. This model can aid in optimizing operational strategies and implementing preventive measures. The study contributes to prolonging heat exchanger lifespan, improving energy efficiency, and reducing downtime in thermal exchange operations across industries.

Keywords: calcium carbonate scaling, plate heat exchangers, operational parameters, scale formation, heat transfer efficiency

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

CFD STUDY OF FLOW DYNAMICS IN PACKED-BED REACTORS WITH STATIC MIXERS

Dr. Priya Nair
Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Madras, India

Dr. Rajesh Kumar
Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

Abstract
Packed-bed reactors (PBRs) with integrated static mixers are widely utilized in catalytic and biochemical processing due to their enhanced mixing characteristics. This study employs computational fluid dynamics (CFD) to analyze flow dynamics, mixing efficiency, and pressure drop within PBRs equipped with static mixers. Various configurations of static mixing elements and packing materials were simulated to understand their effects on fluid velocity profiles, mass transfer rates, and residence time distribution. The CFD results revealed that appropriately designed static mixers disrupt channeling and dead zones, promoting uniform flow distribution and improved reactor performance. Pressure drop measurements provided insights into energy costs associated with different layouts. Validation of CFD predictions with experimental data showed strong correlation, endorsing the models for reactor scale-up and design optimization. This research facilitates informed design of PBRs for chemical and biochemical industries aiming for higher conversion rates and process intensification.

Keywords: packed-bed reactor, static mixers, CFD modeling, flow dynamics, mixing efficiency

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

DESIGN OF GUIDED STRUCTURES FOR SIMULTANEOUS REACTION AND SEPARATION IN MICROCHANNEL REACTORS

Assoc. Prof. Dr. Ahmed Al-Mansouri
Chemical Engineering Department, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Saudi Arabia

Abstract

Microchannel reactors offer unparalleled control over reaction and separation processes at microscale, enabling process intensification and enhanced selectivity. This study introduces the design and evaluation of guided structures within microchannels to facilitate simultaneous chemical reactions and separation of products. Using advanced microfabrication techniques, various guided geometries were created and tested for their impact on flow distribution, mass transfer, and separation efficiency. Computational simulations complemented experimental investigations, highlighting the interplay between structural parameters and reactor performance. Results demonstrate that guiding structures effectively reduce axial dispersion and enhance phase separation by inducing secondary flows and interfacial area expansion. This approach optimizes reaction yield and minimizes downstream separation steps, presenting a significant advancement for chemical synthesis and pharmaceutical manufacturing. The study outlines design criteria and operational guidelines for implementing these microreactors in industrial settings.

Keywords: microchannel reactors, reaction-separation integration, guided structures, process intensification, microfabrication

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADSORPTION-BASED REMOVAL OF LEAD AND CADMIUM IONS USING ACTIVATED CARBON FROM CASHEW SHELLS

Dr. Grace Nwosu
Department of Environmental Chemistry, University of Lagos, Nigeria

Abstract

Heavy metal contamination of water sources, particularly with lead (Pb) and cadmium (Cd), presents grave environmental and public health risks. This research examines the efficacy of activated carbon derived from cashew nutshells as an economical and sustainable adsorbent for Pb(II) and Cd(II) ion removal from aqueous solutions. Activated carbon was prepared through chemical activation and characterized using BET surface analysis, FTIR, and SEM. Batch adsorption experiments were conducted to evaluate parameters including contact time, pH, initial metal concentration, and adsorbent dosage. Results show high adsorption capacities for both metals, with removal efficiencies exceeding 90% under optimized conditions. Adsorption kinetics followed pseudo-second-order models, indicating chemisorption mechanisms. Isotherm analyses suggested that Langmuir models best fit the data, highlighting monolayer adsorption. Regeneration studies demonstrated adsorbent reusability with minimal performance loss. This work supports the development of low-cost water treatment technologies utilizing agricultural waste, promoting circular economy principles in resource management.

Keywords: heavy metal removal, activated carbon, cashew shells, lead adsorption, cadmium adsorption

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

SOIL REMEDIATION THROUGH HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION: TECHNICAL AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Prof. Dr. Beata Sezabo
Institute of Environmental Engineering, Warsaw University of Technology, Poland

Abstract

Soil contamination by organic pollutants poses severe ecological and health challenges. This study evaluates soil remediation using hydrogen peroxide (H_2O_2) oxidation, focusing on its effectiveness, technical feasibility, and environmental impacts. Laboratory-scale oxidation experiments assessed the degradation of persistent organic contaminants in various soil types. Parameters including H_2O_2 concentration, soil moisture, pH, and temperature were optimized for maximal remediation performance. Results indicated significant reductions in pollutant concentration, enhanced biodegradability, and minimal toxic by-product formation. Environmental assessments included analyses of soil microbial activity, physicochemical properties post-treatment, and potential secondary pollution risks. Comparisons with conventional remediation approaches underscored the advantages of H_2O_2 oxidation in terms of speed and environmental safety. The study proposes guidelines for field application and highlights the necessity of integrating oxidation with bioremediation to achieve sustainable soil restoration.

Keywords: soil remediation, hydrogen peroxide oxidation, organic contaminants, environmental assessment, sustainable treatment

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK

Xiang W. Chen
School of Business Administration, Fudan University, China

Mei L. Wang
Department of Management, Shanghai Jiao Tong University, China

Liang K. Zhang
Faculty of Economics, Zhejiang University, China

Abstract
This study examines the dynamic relationship between business model innovation (BMI) and firm value, proposing an evolving framework that integrates current theoretical perspectives and empirical findings. As firms face rapid technological change and shifting market demands, innovating their business models has become vital for sustaining competitive advantage and enhancing firm valuation. Drawing upon a comprehensive review of literature and multiple case studies from diverse industries in China, the framework highlights key drivers, mechanisms, and outcomes of BMI on firm performance. The research underscores the importance of strategic alignment, organizational capabilities, and external environment in shaping how BMI contributes to financial and market-based measures of firm value. Additionally, the framework emphasizes the iterative nature of innovation processes and the necessity to adapt business models continuously in response to internal and external stimuli. Implications for managers include fostering a culture of innovation, leveraging digital technologies, and balancing exploration with exploitation. Limitations of the current research and directions for future studies, such as longitudinal analyses and cross-industry comparisons, are discussed. This evolving framework aims to guide both academic research and managerial practice in understanding the multifaceted impact of business model innovation on firm value creation.

Keywords: business model innovation, firm value, competitive advantage, strategic management, innovation framework

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY

Behzad Rahmani
Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran

Reza Mirzaei
Faculty of Architecture, Tehran University, Iran

Abstract
This research addresses the challenges of designing a single-story control room structure for a petroleum refinery with enhanced blast resistance. Given the inherent risks of explosive incidents in refineries, ensuring structural integrity and safety is critical. The study applies advanced computational simulation techniques and standards-based structural design criteria to assess blast load impacts and propose optimal structural solutions. A finite element method (FEM) model of the control room was developed, incorporating material nonlinearities and dynamic loading parameters. Various blast scenarios were simulated to evaluate the structural response, identify potential failure modes, and recommend reinforcement strategies. Results demonstrate the effectiveness of specific design modifications in improving resilience against shock waves and debris impact. Additionally, the study considers cost-efficiency and constructability aspects of the proposed design. Findings contribute to the broader field of industrial safety engineering and offer practical guidelines for refinery infrastructure development. Future work may explore real-time monitoring systems and integration with risk assessment frameworks.

Keywords: structural design, blast resistance, finite element analysis, petroleum refinery, safety engineering

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES

E. Johnson
Department of Marketing, National Taiwan University, Taiwan

Abstract
This paper evaluates the environmental reporting practices within the chemical industry through a comparative analysis based on Global Reporting Initiative (GRI) disclosures. As environmental accountability gains prominence, transparent reporting serves as a critical tool for stakeholder engagement and regulatory compliance. The study analyzes the sustainability reports of fifteen leading chemical companies over a five-year period, assessing disclosure quality, completeness, and consistency with GRI standards. Using a mixed methods approach combining content analysis and stakeholder feedback surveys, the research identifies prevalent reporting trends and gaps. The findings reveal heterogeneity in adoption levels of GRI indicators, with variations linked to company size, geographic location, and ownership structures. Furthermore, the study discusses challenges faced by chemical sector firms in balancing operational confidentiality and stakeholder transparency. It highlights the importance of enhancing reporting frameworks to better capture environmental impacts and drive performance improvements. Recommendations for policy makers and practitioners include fostering harmonization of standards and capacity building for robust environmental reporting.

Keywords: environmental reporting, chemical industry, GRI standards, sustainability disclosure, corporate social responsibility

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL

Mei-Ling Chang
Department of Marketing, National Taiwan University, Taiwan

Hui-Ling Huang
Institute of Service Science, National Cheng Kung University, Taiwan

Wan-Yu Yu
Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Chung-Lun Wei
Graduate Institute of Technology Management, National Tsing Hua University, Taiwan

Abstract
This paper introduces a novel model investigating the role of organizational and market fit in enhancing service innovation performance. Service innovation is recognized as a key driver of firm competitiveness, but its success depends heavily on the alignment— or 'fit'— between innovation strategies, organizational capabilities, and customer expectations. Drawing upon empirical data collected from 120 service firms across various sectors in Taiwan, the study employs structural equation modeling to test hypotheses related to strategic fit dimensions and their impact on innovation outcomes. Results indicate that both internal fit (alignment between strategy and resources) and external fit (alignment with market demand) significantly influence the efficiency and effectiveness of service innovation processes. The model further elucidates how managerial practices and customer feedback mechanisms mediate this relationship. Implications suggest that companies should focus on tailored strategic planning and adaptive resource allocation to maximize innovation value. Limitations and suggestions for future research on longitudinal data and cross-cultural applications are discussed.

Keywords: service innovation, strategic fit, organizational alignment, customer expectations, innovation performance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS

Dr. Alice Smith
Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Lec. John R. Thompson
Department of Business Administration, National Taiwan University, Taiwan

Abstract
The digital workplace has transformed conventional employment landscapes, introducing complex ethical and legal challenges at the intersection of technology and organizational practice. This study explores the ethical dilemmas and regulatory frameworks relevant to digital work environments, focusing on issues such as data privacy, surveillance, digital misconduct, and employee autonomy. Through qualitative interviews with legal experts, ethics scholars, and organizational leaders from the UK and Australia, the research identifies prevailing concerns and diverse approaches to governance. The analysis highlights tensions between organizational control and individual rights, as well as the evolving nature of workplace norms in response to emerging technologies. The paper advocates for a multidisciplinary approach to policy development, emphasizing transparency, accountability, and inclusivity. It also proposes an ethical decision-making model tailored for digital workplace scenarios, supporting organizations in navigating legal compliance while fostering ethical cultures. Future directions include examining the impact of artificial intelligence and remote work trends on workplace ethics.

Keywords: digital workplace, workplace ethics, data privacy, legal compliance, organizational governance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH

Petra Novak
Department of Radiology, Charles University, Czech Republic

Pavel Novotny
Faculty of Biomedical Engineering, Czech Technical University, Czech Republic

Jan Hruska
Institute of Medical Informatics, Masaryk University, Czech Republic

Abstract
This paper presents recent technological advancements in regional medical imaging systems developed through collaborative efforts among leading Czech research institutions. Regional imaging, which focuses on specific body areas, has gained importance for precise diagnostics, minimally invasive interventions, and patient-specific treatment planning. The study reviews innovations including enhanced image resolution, integration of multimodal imaging techniques, and optimized data processing algorithms. Collaborative projects facilitated knowledge exchange and resource sharing, accelerating development cycles and improving clinical utility. Pilot clinical trials demonstrate improved diagnostic accuracy and workflow efficiency while maintaining patient safety. The research discusses challenges related to system interoperability, data standardization, and regulatory approval. Recommendations for future research address artificial intelligence integration, telemedicine compatibility, and cost-effective deployment strategies. The outcomes contribute to precision medicine and underline the value of interdisciplinary collaboration in medical technology innovation.

Keywords: medical imaging, regional imaging, diagnostic technology, interdisciplinary collaboration, precision medicine

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY

Dr. Chang-hyun Lee
Department of Electrical Engineering, Seoul National University, South Korea

Min-seok Choi
Division of Microelectronics, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea

Sang-hoon Kim
School of Electrical and Computer Engineering, Yonsei University, South Korea

Abstract
This study investigates the radio frequency (RF) permeability characteristics critical for integrating ultra-wideband sensor networks (USN) into system-on-chip (SoC) structures. The integration aims to enhance on-chip communication capabilities and enable efficient sensing applications within compact electronic devices. Using advanced electromagnetic simulation tools and experimental validation, the paper analyzes material properties, antenna design parameters, and signal propagation effects influencing RF permeability in SoC environments. A case study focusing on specific substrate materials representative of South Korean semiconductor technology was performed to evaluate integration feasibility. The findings provide design guidelines to optimize sensor performance while minimizing interference and power consumption. Potential applications span IoT devices, wearable electronics, and smart manufacturing systems. Challenges related to miniaturization and signal integrity are discussed, with proposals for future materials research and fabrication techniques.

Keywords: RF permeability, system-on-chip, ultra-wideband sensor networks, electromagnetic simulation, semiconductor integration

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS

Sung Min Park
Department of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), South Korea

Hyun Jung Choi
Department of Telecommunications, Seoul National University, South Korea

Seung Woo Kim
School of Electronics and Communications, Korea University, South Korea

Ji Hyun Lee
Department of Aerospace Engineering, Hanyang University, South Korea

Sang Min Yoon
Institute of Satellite Engineering, Korea Aerospace Research Institute, South Korea

Abstract
This paper proposes an adaptive handoff detection algorithm that leverages the mobility information of the RCST (Remote Control Satellite Terminal) in satellite beam systems to improve the reliability and efficiency of satellite communication networks. Handoff management is critical in satellite systems due to the dynamic nature of satellite beams and the mobility of user terminals. The proposed algorithm dynamically adapts to changes in terminal mobility patterns and beam configurations, aiming to minimize dropped connections and improve signal quality. By integrating real-time mobility data, the algorithm predicts when handoffs should be initiated to maintain continuous connectivity. Simulation results demonstrate significant improvements in handoff detection accuracy and network performance under varying mobility scenarios. Furthermore, the method reduces unnecessary handoffs, thereby decreasing signaling overhead and power consumption. This research contributes to the advancement of satellite communication technologies, particularly relevant for mobile users in broadband satellite systems, offering potential applications in telecommunication, maritime, and aeronautical connectivity environments.

Keywords: satellite communication, handoff detection, RCST mobility, adaptive algorithms, satellite beam systems

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES

Fatima Al-Hassan
Ganesh Kothapalli
Majid Tolouei-Rad
Department of Mechanical Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia

Abstract

This research addresses the integration of advanced vision systems with simulation software to enhance the capabilities and flexibility of industrial robots. Vision systems enable robots to perceive, interpret, and respond to dynamic environments, while simulation software facilitates design, testing, and optimization of robotic tasks before deployment. By combining these technologies, the study demonstrates improved accuracy in object identification, motion planning, and adaptive control in industrial applications. The integrated system allows for real-time feedback and adjustment, reducing downtime and increasing production efficiency. Experimental validation was conducted using robotic arms in assembly-line scenarios, showing a notable reduction in errors and enhanced adaptability to varying components and workflows. This approach supports industries aiming to implement Industry 4.0 principles by leveraging automation and smart manufacturing processes. The paper discusses the technical challenges in system integration and proposes future directions to incorporate machine learning techniques for further autonomy in robotics.

Keywords: industrial robots, vision systems, simulation software, automation, Industry 4.0

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES

Assist. Prof. Dr. Wei-Lin Chang
Department of Psychiatry, National Taiwan University Hospital, Taiwan

Hsiao-Mei Lin
School of Nursing, National Yang Ming Chiao Tung University, Taiwan

Abstract
Unplanned extubation (UE) poses a severe threat to patient safety in psychiatric long-term care facilities, where patients may display agitation or cognitive impairments increasing the risk of accidental or self-removed tubes. This study evaluates current clinical practices, environmental factors, and staff interventions aimed at minimizing UE incidents. Employing a mixed-methods approach comprising incident data analysis, staff interviews, and patient behavior monitoring across several long-term psychiatric wards, the research identifies key risk factors and effective mitigation strategies. Implementation of tailored protocols including enhanced monitoring, staff education, environmental modifications, and patient-centered care practices led to a significant reduction in UE rates. The study highlights the importance of multidisciplinary collaboration and ongoing staff training to manage risks effectively. Findings inform policy recommendations and contribute to improving the safety and quality of psychiatric long-term care settings globally.

Keywords: unplanned extubation, psychiatric care, patient safety, risk management, long-term care

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS

A. Ahmadi
Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Iran

M. Rezaei
Faculty of Transportation Engineering, University of Tehran, Iran

Abstract

Bus Rapid Transit (BRT) systems represent a cost-effective and sustainable urban transportation solution but face operational challenges such as congestion, scheduling inefficiencies, and traffic signal delays. This paper presents an enhanced intelligent transportation system (ITS) framework designed to optimize BRT operations through real-time data analytics, vehicle-to-infrastructure communication, and adaptive traffic control strategies. The proposed ITS integrates GPS tracking, passenger load sensing, and advanced algorithms to streamline bus movements, reduce dwell times, and improve on-time performance. Implementation in a major metropolitan BRT corridor in Tehran demonstrated a marked increase in average speeds, reduced passenger wait times, and improved reliability. By leveraging emerging technologies and smart infrastructure, the system offers scalable solutions for urban transit agencies seeking to elevate BRT efficiency and commuter experience. Future work will explore integration with multimodal systems and autonomous vehicle frameworks.

Keywords: intelligent transportation systems, BRT operations, traffic management, adaptive control, urban transit

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES

John Smith
Alice Johnson
Michael Lee
Sarah Brown
Department of Cybersecurity, National University of Singapore, Singapore

Abstract

The rapid expansion of e-learning platforms has increased the demand for robust information security measures, particularly for authenticating users and safeguarding sensitive educational data. This paper investigates state-of-the-art human identification techniques, including biometric authentication, behavioral analytics, and multi-factor identification methods, that enhance security in e-learning environments. The study analyzes the effectiveness, accuracy, and usability of various approaches through empirical evaluation on popular e-learning platforms. Results indicate that combining biometric traits—such as fingerprint, facial recognition—with behavioral patterns like keystroke dynamics significantly reduces unauthorized access and identity fraud. The paper also discusses privacy concerns and proposes a security framework balancing robustness and user convenience for diverse educational settings. This research supports e-learning providers in developing secure, trustworthy systems that protect learners and educators alike.

Keywords: e-learning security, human identification, biometric authentication, cybersecurity, user verification

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR

Ming Li
School of Management, Shanghai Jiao Tong University, China

Fang Wang
Department of Industrial Engineering, Zhejiang University, China

Abstract
Grey incidence analysis, a method for evaluating uncertain and incomplete information, has gained prominence in logistics for decision-making under complexity. This study examines grey incidence applications within the macroscopic logistics sector, focusing on supply chain performance, risk assessment, and strategic planning. Utilizing empirical data from major logistics firms in China, the research models relationships among key variables such as delivery time, cost efficiency, and environmental impact. Findings demonstrate grey incidence methods' effectiveness in revealing hidden correlations and guiding managerial decisions amid uncertainty. The paper also explores how grey system theory complements conventional statistical approaches and proposes integrated frameworks for comprehensive logistics analysis. Implications include improved resource allocation, enhanced resilience, and informed policy-making in dynamic market conditions.

Keywords: grey incidence analysis, logistics sector, supply chain management, decision-making, uncertainty

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS

Ming-Hua Wang
Department of Electrical Engineering, National Taiwan University, Taiwan

Bo-Chiuan Chen
School of Computer Science, National Tsing Hua University, Taiwan

C. W. Hsu
Institute of Network Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

Abstract
Dedicated Short-Range Communications (DSRC) form a critical component of intelligent transportation systems, facilitating vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communication. This paper investigates the performance challenges of DSRC radio testbeds under high channel traffic conditions, which simulate real-world congested scenarios. The study evaluates communication latency, packet loss, and network throughput across varying traffic intensities using controlled experiments on multiple testbed configurations. Results reveal degradation in reliability and efficiency as channel traffic increases, posing constraints on safety-critical applications. The analysis identifies interference and resource contention as primary limiting factors. Proposed solutions include dynamic channel allocation, enhanced medium access control protocols, and interference mitigation techniques. These findings contribute to the development of resilient DSRC networks essential for future connected vehicle technologies and smart city infrastructures.

Keywords: DSRC, radio testbeds, channel traffic, intelligent transportation systems, network performance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1

EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA

Dr. Nurul Hidayah Abdullah
Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Dr. Ahmad Faisal Mohd Zain
School of Building and Property, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Abstract
Delayed payments significantly impact project timelines, cost overruns, and contractor cash flow within Malaysia's construction sector. This study analyzes the prevalence, causes, and consequences of delayed payment issues through a comprehensive survey of construction companies and stakeholders. Key contributing factors identified include bureaucratic inefficiencies, contract ambiguities, and economic fluctuations. The research further assesses the effectiveness of existing legal frameworks and industry practices in addressing payment delays. Recommendations are provided to enhance contract management, improve stakeholder communication, and implement stricter enforcement mechanisms to mitigate payment risks. These findings aim to assist policymakers, contractors, and clients in fostering a more reliable and sustainable construction industry landscape in Malaysia.

Keywords: delayed payments, construction sector, Malaysia, contract management, project finance

ISBN NR. : 978-625-5694-62-1