



6. ULUSLARARASI FEN ve UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

6 - 8 Şubat 2026
İzmir

YÜZYÜZE ve ONLINE

Önemli Tarihler

Son Başvuru : 1 Şubat 2026

Kitap Yayın Tarihi : 15 Mart 2026



ICSAS ACADEMY

www.icsasconferences.org

SAĞLIK
SPOR
MÜHENDİSLİK
MİMARLIK
MATEMATİK
ZİRAAT
VETERİNER BİLİMİ
HEMŞİRELİK
EBELİK
JEOLJİ
EKONOMETRİ
İSTATİSTİK
YAZILIM
PEYZAJ
BİTKİ KORUMA
FARMAKOLOJİ
TEKNOLOJİ
METEOROLOJİ
UYGULAMALI BİLİMLER
KİMYA
BİYOKİMYA
BİYOLOJİ
MİKROBİYOLOJİ
PSİKİYATRİ
ENERJİ
MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
GIDA
FİZYOTERAPİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK
İNŞAAT
SU ÜRÜNLERİ
MADEN
TEKSTİL
ŞEHİR PLANLAMA
MAKİNA
TARIM
BİTKİ KORUMA
ÇOCUK GELİŞİMİ
DİŞ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
HARİTA
FİZİK
ADLİ TIP
MEKATRONİK
ORMAN



**ICSAS 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
FEBRUARY 6 – 8, 2026
IZMIR**

Edited By

ASSOC. PROF. DR. FERAN AŞUR

Issued: 15.03.2026

ISBN: 978-625-5694-79-9

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 49 papers have been presented by Turkish participants and 63 papers by international participants.

Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.

Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: <https://www.icsasconferences.org>

Contact: icsasconferences@gmail.com

CONFERENCE ID**ICSAS 6TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES****DATE – PLACE****FEBRUARY 6 – 8, 2026****IZMIR****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

**Turkey – Bangladesh – Laos – Iraq – Kazakhstan- Kazakhstan- Taiwan- China –
Singapore - Iran - Saudi Arabia - South Korea - Czech Republic – Indonesia –
Malaysia- Nigeria- Japan – Algeria – Bulgaria- Azerbaijan-**

PRESENTATION**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD**Head of Conference: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran**

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep 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 Üniversitesi

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 Üniversitesi

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. Həməzə Əliyev- Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

Assist. Prof. Dr. Məhrukh Dövlətzadə - 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 Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizaji

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

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 – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

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 – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

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 - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

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 – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

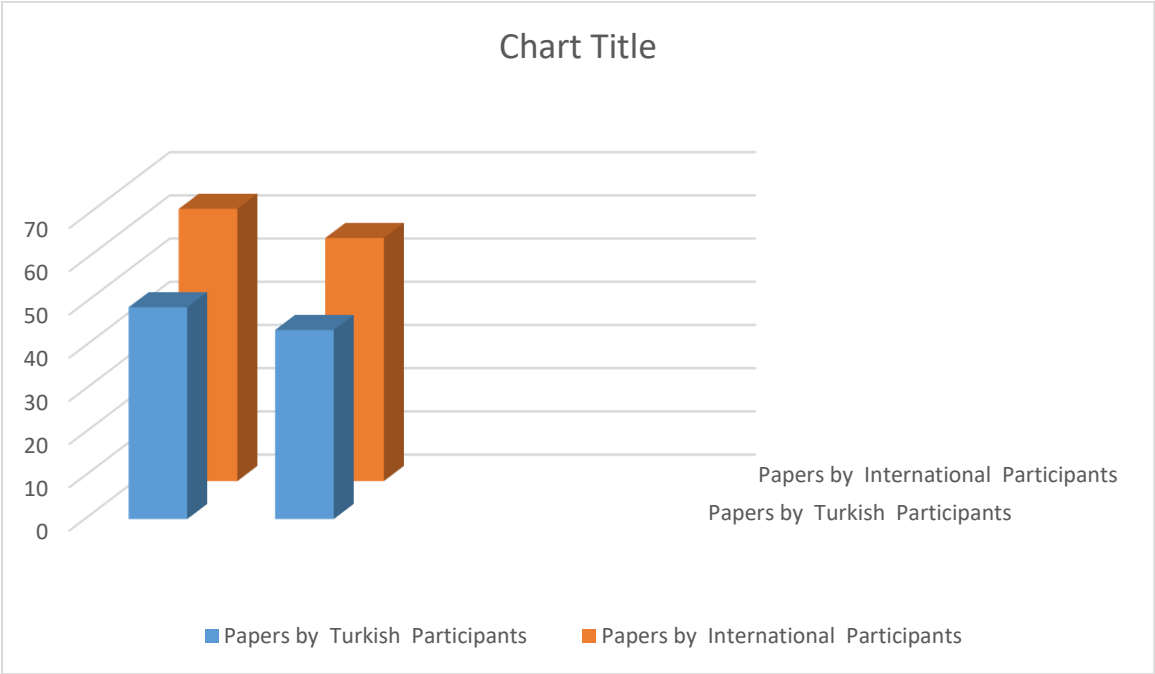
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- 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 – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- 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 – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
- Dr. Ayşe Baran - Türkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	49	43,75
<i>Papers by International Participants</i>	63	56,25





T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Personel Daire Başkanlığı



Sayı : E-16710634-03-903.07.02-2300384284
Konu : Doç.Dr.Elif AKPINAR
KÜLEKÇİ'nin Görevlendirilmesi

01.12.2023

MİMARLIK VE TASARIM FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

İlgi : 29.11.2023 tarihli ve E-53120705-000-2300381989 sayılı belge.

Fakülteniz Peyzaj Mimarlığı Bölümü öğretim üyelerinden Doç.Dr.Elif AKPINAR KÜLEKÇİ'nin, Yükseköğretim Genel Kurulunun 15.06.2023 tarihli, 10 sayılı oturumunda alınan 2023.10.183 sayılı kararı gereğince Doçentlik Başvuru Şartlarında bulunan ve doçent olacak adaylardan istenen "Diğer uluslararası/ ulusal bilimsel toplantının düzenleme komitesinde resmi olarak görevlendirilmiş üniversite akademisyen temsilcisi bulunması zorunludur." maddesi gereğince, Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz ve gündeliksiz olarak görevlendirilmesi Rektörlüğümüzce uygun görülmüştür.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Ömer ÇOMAKLI
Rektör

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: 87c7a395-d4b6-4f7a-abc6-5dee8674e3d1
Atatürk Üniversitesi Rektörlüğü 25240 Erzurum
Tel: +90 442 2311023
Elektronik Ağ: www.atauni.edu.tr
Kep Adresi: atauni@hs01.kep.tr

Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/ataturk-universitesi-ebys>

Bilgi: Mehmet KOÇ
Faks: +90 442 2361014
E-Posta: personel@atauni.edu.tr



ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND
SOCIAL SCIENCES
ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
February 6 – 8, 2026
IZMIR

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 moderatör 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 aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- 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 söz konusu 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,

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Tahir BALCI	1	IS LOWER - CAPITAL LETTER WRITING FORMAL OR SEMANTIC?	Prof. Dr. Tahir BALCI
		2	WHAT IS AN AFFIX ACCORDING TO GRAMMAR, AND WHAT IS NOT?	Prof. Dr. Tahir BALCI
		3	A STUDY ON RELIGIOUS FOLKLORE ELEMENTS IN DIVAN POETRY: 19TH CENTURY	Dr. Oğuz YILDIRIM
		4	PROMINENT REPRESENTATIVE OF SOUTHERN AZERBAIJAN LITERATURE SAHAND	Dovladzade Mahrukh
		5	KIRSALDA EĞİTİM GÖREN ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN MATEMATİK DERSİNE OLAN BAĞLILIKLARININ BAZI DEĞİŞKENLERE GÖRE İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, ÖZGE TAŞ Prof. Dr., KÜRŞAT YENİLMEZ
		6	MATEMATİKSEL DÜŞÜNME ÜZERİNE YAPILMIŞ LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, ÖZGE TAŞ Prof. Dr., KÜRŞAT YENİLMEZ
		7	TÜRK BASINININ FİLİSTİN GÖZLEMLERİ: FİLİSTİN MEKTUPLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Nur Savaş
		8	ÖZEL EĞİTİM ÖĞRETMENLERİNİN EĞİTİMDE YAPAY ZEKÂ KULLANIMINA YÖNELİK ALGILARININ ÇEŞİTLİ DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	Fatih Bayram Gülsüm Çelik Dr. Öğr. Üyesi Merih Tokar

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. İBRAHİM BOZACI	1	BENEFITING FROM WORK ACCIDENT AND OCCUPATIONAL DISEASE INSURANCE	Dr. Serkan DEMİRTAŞ
		2	A LITERATURE REVIEW ON THE EFFECTS OF NATURE SOUNDS ON CONSUMERS	Doç. Dr. İBRAHİM BOZACI
		3	A LITERATURE REVIEW ON THE RELATIONSHIP BETWEEN PREGNANCY AND CONSUMPTION	Doç. Dr. İBRAHİM BOZACI
		4	THE ROLE OF FIRM STRUCTURE IN TAX AVOIDANCE UNDERSTANDING	Öğr. Gör. Dr. YAHYA NAS
		5	BEHAVIORAL FINANCE AND THE PRINCIPLE OF LIMITED GOVERNMENT: AN ACADEMIC FRAMEWORK	Mustafa Uğur BAYAR
		6	A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS OF “STORYTELLING” RESEARCH IN TOURISM	Dr. Öğr. Üyesi Merve ONUR Prof. Dr. İrfan YAZICIOĞLU
		7	ANALYSIS OF INCOME INEQUALITY IN G20 COUNTRIES WITH CLUB CONVERGENCE	Doç. Dr. Savaş DURMUŞ Doç. Dr. Hikmet AKYOL
		8	ESTIMATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DIGITALIZATION AND FINANCIAL DEVELOPMENT IN D-8 COUNTRIES USING THE BOOTSTRAP QUANTILE METHOD	Doç. Dr. Savaş DURMUŞ Doç. Dr. Hikmet AKYOL
		9	VERGİ İHBAR KARARINI ETKİLEYEN HUKUKİ FAKTÖRLER: ANKARA HACI BAYRAM VELİ ÜNİVERSİTESİ İİBF ÖĞRENCİLERİNE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Rana DAYIOĞLU ERUL Şeyma BAYRAKLI
		10	THE TRANSFORMATION OF DIGITAL TAX AUDITING IN TÜRKİYE: AN EVALUATION OF THE KURGAN MODEL	Dr. Öğretim Üyesi Merve YOLAL
		11	AZERBAIJAN-ERMENİSTAN TOPRAK ÇATIŞMASI VE GÜNCEL GELİŞMELER	Yüksek Lisans Öğrencisi, Rana Burkay ÜSTÜNSU

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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 Ahmed ALDYAB	1	GOD’S KNOWLEDGE, TIME, AND HUMAN FREEDOM: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE APPROACHES OF BOETHIUS AND MÂTURİDÎ	Master’s Student, Rana İrem DEMİRTÜRK
		2	TEACHING ARABIC CONVERSATION TO NON-NATIVE SPEAKERS: BETWEEN REALITY AND ASPIRATION	Doç.Dr Ahmed ALDYAB
		3	TEACHING ARABIC CONVERSATION TO FOREIGN STUDENTS USING THE BRAINSTORMING METHOD	Doç.Dr Ahmed ALDYAB
		4	TÜRK MÜZİĞİNDE VİYOLONSEL İÇİN UYARLAMA ÖNERİLERİ	Dr. Seher ERKAN
		5	İSMAİL HAKKI OYGAR: EĞİTİM HAYATI, SERAMİK SANATINA KATKILARI VE TÜRK SERAMİK ENDÜSTRİSİNE BAKIŞI	Yüksek Lisans Öğrencisi, LEYLA GÜLER
		6	A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SUBJECT THAT POSITIONING ITSELF AGAINST THE ANBEATABLE IN THE CINEMA OF JACQUES TATI AND ELIA SULEIMAN	Asst. Prof. Dr. MUZAFFER MUSAB YILMAZ

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON HUMANITY AND SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Araştırma Görevlisi Hamza Emin EKER	1	KADININ İKİNCİL KONUMU EKSENİNDE MARKSİZM ve MARKSİST FEMİNİZM	AYŞENUR SENA KÜRKÇÜ
		2	SİMÜLASYON VE MÜHENDİSLİK YÖNTEMLERİ KULLANIMI İLE SOSYOLOJİK ÇIKARIM DENEYİ	Araştırma Görevlisi Hamza Emin EKER Prof. Dr. Tolunay GÖÇKEN
		3	TÜRKİYE'DE GÜVENLİK BECERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK GELİŞTİRİLEN ÖLÇME ARAÇLARININ SİSTEMATİK İNCELEMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, AYŞE GÜL KILIÇ Dr. Öğr. Üyesi, MERİH TOKER
		4	2010–2025 YILLARI ARASINDA YAYIMLANMIŞ FLOORTİME YAKLAŞIMINA İLİŞKİN AKADEMİK ÇALIŞMALARIN SİSTEMATİK İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, MUSTAFA VARSAK Dr. Öğr. Üyesi, MERİH TOKER
		5	THE DESIRE FOR SUPERIORITY IN SPORT CONTEXTS: NARCISSISTIC ADMIRATION, RIVALRY, AND PSYCHOLOGICAL ENTITLEMENT	SEDA ÖNTÜRK Prof. Dr. N. Emir EKİNCİ Doç. Dr. YAVUZ ÖNTÜRK

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç Dr. Fatih KUTLUER	1	MERISTEMATIC CELL ALTERATIONS IN ALLIUM CEPA EXPOSED TO DICOFOL	Doç Dr. Fatih KUTLUER Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		2	ASSESSMENT OF THE GENOTOXIC EFFECTS OF QUINALPHOS INSECTICIDE THROUGH THE ALLIUM CEPA TEST SYSTEM	Doç Dr. Fatih KUTLUER Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		3	THE PROTECTIVE ROLE OF ROYAL JELLY AGAINST LAMBDA CYHALOTHRIN-INDUCED DNA DAMAGA IN SWISS ALBINO MICE: COMET ASSAY	Uzman Biyolog Zeynep Şule TOPATAN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		4	THE PROTECTIVE ROLE OF KOMBUCHA TEA AGAINST PHENOL-INDUCED DNA DAMAGE IN SWISS ALBINO MICE: COMET ASSAY	Uzman Biyolog Zeynep Şule TOPATAN Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		5	MERISTEMATIC CELL DAMAGE CAUSED BY SETHOXYDIM HERBICIDE IN ALLIUM CEPA (ONION)	Arş. Gör. Dr. Hüseyin YILMAZ Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		6	GENOTOXICITY INDUCED BY FLUMETSULAM HERBICIDE IN ALLIUM CEPA (ONION) MERISTEMATIC CELLS	Arş. Gör. Dr. Hüseyin YILMAZ Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		7	EVALUATION OF THE GENOTOXIC EFFECTS OF QUINTOZENE FUNGICIDE USING THE ALLIUM CEPA TEST SYSTEM	Expert Biologist Onur SARSAR Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		8	EVALUATION OF THE BIOCHEMICAL TOXICITY POTENTIAL OF TRIFORINE FUNGICIDE IN THE ALLIUM CEPA BIOASSAY	Expert Biologist Onur SARSAR Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		9	DAMAGES INDUCED BY TRIFLURALIN HERBICIDE IN ALLIUM CEPA MERISTEMATIC CELLS	Dr. İlkur GÜÇ Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		10	EVALUATION OF THE GENOTOXIC POTENTIAL OF THE FUNGICIDE VINCLOZOLIN USING THE ALLIUM CEPA TEST SYSTEM	Dr. İlkur GÜÇ Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		11	ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION LEVELS IN THE AKSU RIVER (GİRESUN, TÜRKİYE)	Dr. Fikriye ALTUNKAYNAK Prof. Dr. Emine YALÇIN Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU
		12	ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION LEVELS IN THE HARSIT RIVER (GİRESUN, TÜRKİYE)	Dr. Fikriye ALTUNKAYNAK Prof. Dr. Kültiğin ÇAVUŞOĞLU Prof. Dr. Emine YALÇIN
		13	BALDA TAĞŞİŞ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE ANALİTİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ	Dr. Ekin VAROL Prof. Dr. Banu YÜCEL
		14	BALIN APİTERAPÖTİK ÖZELLİKLERİ ve SAĞLIKTA KULLANIMI	Prof. Dr. Banu YÜCEL Dr. Ekin VAROL

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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 Zerhouini, 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
		10		

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	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	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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Leila Ahmadi	1	DIGITAL TRANSFORMATION STRATEGIES FOR SUSTAINABLE GROWTH IN OMANI SMEs	Prof. Dr. Ahmed Al-Maskari, Dr. Fatima Al-Harhi
		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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	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
		10		

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR	1	INVESTIGATION OF THE ANATOMICAL EFFECTS OF PARACETAMOL ON ALLIUM CEPA ROOTS	Assistant Professor Selin SİPAHİ KULOĞLU Assoc. Prof. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR Assoc. Prof. Oksal MACAR Assoc. Prof. Ali ACAR
		2	ANATOMICAL CHANGES INDUCED BY MOXIFLOXACIN EXPOSURE IN ALLIUM CEPA ROOT MERISTEM TISSUES	Assistant Professor Selin SİPAHİ KULOĞLU Assoc. Prof. Ali ACAR Assoc. Prof. Oksal MACAR Assoc. Prof. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR
		3	GENOTOXIC EFFECTS OF ZINC AT ENVIRONMENTALLY SIGNIFICANT CONCENTRATIONS AND ANTHOCYANIN DEFENCE IN ALLIUM CEPA L.	Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR Assist. Prof. Dr. Selin SİPAHİ KULOĞLU Assoc. Prof. Dr. Oksal MACAR Assoc. Prof. Dr. Ali ACAR
		4	PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF ALLIUM CEPA L. TO LEAD EXPOSURE AND CHANGES IN ANTHOCYANIN CONTENT	Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR Assist. Prof. Dr. Selin SİPAHİ KULOĞLU Assoc. Prof. Dr. Ali ACAR Assoc. Prof. Dr. Oksal MACAR
		5	ASSESSING THE GENOTOXIC FOOTPRINT OF LITHIUM AT ENVIRONMENTALLY RELEVANT CONCENTRATIONS IN ALLIUM CEPA AND ITS EFFECT ON ANTHOCYANIN CONTENT	Assoc. Prof. OKSAL MACAR Asst. Prof. SELİN SİPAHİ KULOĞLU Assoc. Prof. ALİ ACAR Assoc. Prof. TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR
		6	COPPER-INDUCED PHYSIOLOGICAL STRESS IN ALLIUM CEPA ENVIRONMENTALLY REALISTIC CONCENTRATIONS CHANGES IN ANTHOCYANIN CONTENT	Assoc. Prof. OKSAL MACAR Assoc. Prof. ALİ ACAR Assoc. Prof. TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR Asst. Prof. SELİN SİPAHİ KULOĞLU
		7	GENOTOXICITY ASSESSMENT OF IMAZAMOX PESTICIDE WITH COMET ASSAY	Ali ACAR Selin SİPAHİ KULOĞLU Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR Oksal MACAR
		8	GENOTOXICITY ASSESSMENT OF TEBUCONAZOLE FUNGICIDE WITH COMET ASSAY	Ali ACAR Selin SİPAHİ KULOĞLU Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR Oksal MACAR

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI	1	YAŞLI BİREYLERDE SAĞLIKLI YAŞLANMANIN KIRSAL VE KENTSEL BAĞLAMDA İNCELENMESİ	Hemşire AYŞEGÜL KILIÇ Dr. Öğr. Üyesi FİGEN ÇAVUŞOĞLU
		2	MENOPAUSE AND AGING ANXIETY IN WOMEN OVER 40	Yüksek Lisans Öğrencisi, BURCU TÜRK Dr. Öğr. Üyesi, FİGEN ÇAVUŞOĞLU
		3	THE IMPORTANCE OF NUTRITIONAL CARE IN SURGICAL INTENSIVE CARE	Yüksek Lisans Öğrencisi Özcan TÜRKÖĞLU Prof. Dr. Şenay KARADAĞ ARLI
		4	DELIRIUM IN ORTHOGERIATRIC PATIENTS AND NURSING CARE IN ITS PREVENTION	Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI
		5	ONE OF THE EVOLVING ROLES OF NURSING CARE: PATIENT-CENTERED CARE	Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI
		6	ANTİMİKROBİYAL PEPTİTLERİN NANOKOMPOZİTLERİ	DR. SEDEF KAPTAN USUL

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof.Dr. Özlem EMİR ÇOBAN	1	ZERO HUNGER, ZERO WASTE: MODI-ERA FOOD SECURITY AND WASTE REDUCTION POLICIES ADVANCING SDGS 2 AND 12 IN INDIA	Prof Mamta Sharma Prof Sandeep K Sharma
		2	THE IMPACT OF THE HUMAN FACTOR ON DECISION MAKING PROCESSES: A REVIEW OF ERRORS	Emrehan TAŞTEKİN Rabia Nisa ÇINAR
		3	GLUTEN-FREE PASTA IN FUNCTIONAL FOOD DESIGN: EFFECTS OF ODOURLESS LYOPHILISED FISH ADDITIVE ON STRUCTURAL STRENGTH AND BIOAVAILABILITY	Prof.Dr. Özlem EMİR ÇOBAN Doç.Dr.Mücahit EROĞLU Prof.Dr.Hülya GÜL Dr.Tuba OKUTAN Doç. Dr. Feray ÇAĞIRAN YILMAZ Dr.Öğr. Üyesi.İlhan Fırat KILINÇER
		4	DENİZLİ İLİ HONAZ İLÇESİ KİRAZ BAHÇELERİNİN BESLENME DURUMUNUN TOPRAK VE BİTKİ ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ	Zir.Müh. Raziye AYDIN Doç.Dr.Bihter ÇOLAK ESETLİLİ
		5		
		6		

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 İZMİR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assist. Prof. Ahmet Sertol Köksal	1	HYPER G-MATRICES AND THE RELATIONS BETWEEN LUCAS NUMBERS	HASAN KELEŞ
		2	HYPER G–MATRICES AND DUCCI DYNAMICS:A DISCRETE ALGEBRAIC CONNECTION	HASAN KELEŞ
		3	EQUIVALENCE PROPERTIES OF HYPERG-MATRICES	HASAN KELEŞ
		4	ZAMANSAL-MEKÂNSAL LSTM/GRU VE TRANSFORMER MODELLERİYLE TRAFİK AKIŞI TAHMİNİ	Bilgisayar Mühendisi, Muhammed GÜNEŞ Dr. Öğr. Üyesi, BASHAR ALHAJAHMAD
		5	ENRON VERİ KÜMESİ ÜZERİNDE HİBRİT ÖZELLİK MİMARİSİ İLE E-POSTA ÖNEM SINIFLANDIRMASI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Abdülhak ALASULU Dr.Öğr. Üyesi Bashar ALHAJAHMAD
		6	DEEP LEARNING ARCHITECTURE FOR ENTITY MATCHING OF BANK TRANSACTIONS AND INVOICE LINES	Murat Öz Barış Deveci
		7	COST-SENSITIVE LEARNING FOR N1 SLEEP STAGE DETECTION: A COST-BENEFIT EVALUATION	Assist. Prof. Ahmet Sertol Köksal
		8	AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA DESTEKLİ İHA AĞ SALDIRI TESPİT SİSTEMİ: PERFORMANS VE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ	Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ
		9	IOT AĞLARINDA SIFIR-GÜN SALDIRILARININ TESPİTİ İÇİN ARTIK BAĞLANTILI OTOKODLAYICILAR: PERFORMANS VE OPERASYONEL KARARLILIK ANALİZİ	Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES				
February 6 – 8, 2026				
İZMİR				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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, NESLİHAN TOP	1	EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ: YAŞAM DÖNGÜSÜ VE DÖNGÜSEL TASARIM PERSPEKTİFİ	Dr. Öğr. Üyesi, NESLİHAN TOP Doç. Dr., HARUN GÖKÇE Prof. Dr., İSMAİL ŞAHİN
		2	KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÜRÜN TASARIMINDA EKLEMELİ İMALAT VE KULLANICI DENEYİMİ	Dr. Öğr. Üyesi, NESLİHAN TOP
		3	COMPARATIVE ANALYSIS OF RANDOM SEARCH-TUNED LSTM, GRU, AND BILSTM MODELS FOR LITHIUM-ION BATTERY CAPACITY DEGRADATION PREDICTION	Sertaç SAVAŞ
		4	HAVA ARACI RAMP KONTROLLERİNDE TESPİT EDİLEN UÇAK SİSTEMLERİNE İLİŞKİN TEKNİK BULGULARIN KATEGORİK ANALİZİ VE AZALTIM YAKLAŞIMLARI	Dr. ERDAL YEŞİLBAŞ
		5	GÜÇLENDİRİLMİŞ YENİ NESİL ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GELİŞTİRİLMESİ: TERSİNE MÜHENDİSLİKTEN PROTOTİPE BÜTÜNLEŞİK METODOLOJİ	Gasim ALTUNDAL Prof.Dr., Hüsnü GERENGİ Canan YÜKSEL Doğaç ÇAĞIL Beyza AŞIKOĞLU
		6	ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GÜÇLENDİRİLMİŞ KATMAN FORMÜLASYONUNDA SPEKTROSKOPİK VE TERMAL ANALİZ YAKLAŞIMI	Gasim ALTUNDAL Prof.Dr., Hüsnü GERENGİ Canan YÜKSEL Doğaç ÇAĞIL Emine DEMİR
		7	RESTORING SECOND-ORDER ACCURACY TO THE FILTERED LEAPFROG SCHEME VIA A TEMPORAL PRE-FILTERING FRAMEWORK	Assist. Prof. Ahmet GÜZEL
		8	ENERGY CONSUMPTION ESTIMATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING SESSION DATA USING MACHINE LEARNING METHODS FOR SUSTAINABLE ENERGY MANAGEMENT	Masters Student, Zeynep ÖZER Assistant Professor, Alican DOĞAN
		9	THEORETICAL INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF LINAGLIPTIN	Asst. Prof. Halime ERZEN YILDIZ Dr. Lecturer Hamza TUNÇ Prof. Dr. Berna OTO

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assis. Prof. Dr. Bauyrzhan Tulegenov	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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
8 Şubat / Feb 8, 2026 / 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. 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

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	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
		10		

ICSAS 6th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES February 6 – 8, 2026 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 8 Şubat / Feb 8, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	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 Sarsembayeve
		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 Fayeze
		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 Malatheap 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

Contents

ASSESSMENT OF THE GENOTOXIC EFFECTS OF QUINALPHOS INSECTICIDE THROUGH THE <i>ALLIUM CEPA</i> TEST SYSTEM.....	1
MERISTEMATIC CELL ALTERATIONS IN <i>ALLIUM CEPA</i> EXPOSED TO DICOFOL	8
THE PROTECTIVE ROLE OF ROYAL JELLY AGAINST LAMBDA CYHALOTHRIN-INDUCED DNA DAMAGA IN SWISS ALBINO MICE : COMET ASSAY	17
THE PROTECTIVE ROLE OF KOMBUCHA TEA AGAINST PHENOL-INDUCED DNA DAMAGE IN SWISS ALBINO MICE: COMET ASSAY	24
ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR PREDICTIVE ANALYTICS IN KAZAKHSTAN’S HEALTHCARE SYSTEM	32
MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF SMART CITY TRANSPORTATION NETWORKS IN ALMATY.....	33
DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL SOFTWARE FOR MATHEMATICS TEACHING IN SECONDARY IRAQI SCHOOLS.....	34
ADVANCED APPLIED ALGEBRAIC METHODS FOR CRYPTOGRAPHIC SECURITY IN IRAQI E-GOVERNMENT SYSTEMS	35
SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES AND AGILE PRACTICES IN SOFTWARE FIRMS OF LAOS.....	36
ALGORITHMIC THINKING AND MATHEMATICS ACHIEVEMENT IN LAOS PRIMARY EDUCATION.....	37
BIG DATA ANALYTICS AND MACHINE LEARNING FOR BANGLADESHI FINANCIAL INSTITUTIONS	38
MATHEMATICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN BANGLADESH	39
MERISTEMATIC CELL DAMAGE CAUSED BY SETHOXYDIM HERBICIDE IN <i>ALLIUM CEPA</i> (ONION)	40
GENOTOXICITY INDUCED BY FLUMETSULAM HERBICIDE IN <i>ALLIUM CEPA</i> (ONION) MERISTEMATIC CELLS.....	48
EVALUATION OF THE BIOCHEMICAL TOXICITY POTENTIAL OF TRIFORINE FUNGICIDE IN THE <i>ALLIUM CEPA</i> BIOASSAY.....	64
EVALUATION OF THE GENOTOXIC POTENTIAL OF THE FUNGICIDE VINCLOZOLIN USING THE <i>ALLIUM CEPA</i> TEST SYSTEM.....	72
DAMAGES INDUCED BY TRIFLURALIN HERBICIDE IN <i>ALLIUM CEPA</i> MERISTEMATIC CELLS	78
ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION LEVELS IN THE HARSIT RIVER (GIRESUN, TURKIYE)	85
ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION LEVELS IN THE AKSU STREAM (GIRESUN, TURKIYE).....	92
BALIN APİTERAPÖTİK ÖZELLİKLERİ VE SAĞLIKTA KULLANIMI APITHERAPEUTIC PROPERTIES OF HONEY AND USING IN HEALTH.....	100
BALDA TAĞŞIŞ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE ANALİTİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ	105
Investigation of the Anatomical Effects of Paracetamol on <i>Allium cepa</i> Roots.....	116
Anatomical Changes Induced by Moxifloxacin Exposure in <i>Allium cepa</i> Root Meristem Tissues	122

GENOTOXIC EFFECTS OF ZINC AT ENVIRONMENTALLY SIGNIFICANT CONCENTRATIONS AND ANTHOCYANIN DEFENCE IN <i>ALLIUM CEPA</i> L.	128
PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF <i>ALLIUM CEPA</i> L. TO LEAD EXPOSURE AND CHANGES IN ANTHOCYANIN CONTENT	137
COPPER-INDUCED PHYSIOLOGICAL STRESS IN <i>ALLIUM CEPA</i> ENVIRONMENTALLY REALISTIC CONCENTRATIONS CHANGES IN ANTHOCYANIN CONTENT	144
ÇEVRESEL OLARAK GERÇEKÇİ KONSANTRASYONLARDA BAKIRIN <i>ALLIUM CEPA</i> 'DA İNDÜKLEDİĞİ FİZYOLOJİK STRES VE ANTOSİYANİN İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİMLER	145
ASSESSING THE GENOTOXIC FOOTPRINT OF LITHIUM AT ENVIRONMENTALLY RELEVANT CONCENTRATIONS IN <i>ALLIUM CEPA</i> AND ITS EFFECT ON ANTHOCYANIN CONTENT	151
GENOTOXICITY ASSESSMENT OF IMAZAMOX PESTICIDE WITH COMET ASSAY	158
GENOTOXICITY ASSESSMENT OF TEBUCONAZOLE FUNGICIDE WITH COMET ASSAY	166
YAŞLI BİREYLERDE SAĞLIKLI YAŞLANMANIN KIRSAL VE KENTSEL BAĞLAMDA İNCELENMESİ	175
40 YAŞ SONRASI KADINLARDA MENOPOZ VE YAŞLANMA ANKSİYETESİ	190
CERRAHİ YOĞUN BAKIMDA NÜTRİSYONEL BAKIMIN ÖNEMİ	204
ORTOGERİATRİ HASTALARINDA DELİRYUMUN ÖNLENMESİ VE HEMŞİRELİK BAKIMI	214
DELIRIUM IN ORTHOGERIATRIC PATIENTS AND NURSING CARE IN ITS PREVENTION	215
HEMŞİRELİK BAKIMININ GELİŞEN ROLLERİNDEN BİRİ: HASTA MERKEZLİ BAKIM	224
ANTİMİKROBİYAL PEPTİTLERİN NANOKOMPOZİTLERİ	235
İNSAN FAKTÖRÜNÜN KARAR VERME SÜREÇLERİNE ETKİSİ: HATALAR ÜZERİNE BİR İNCELEME	236
FONKSİYONEL GIDA TASARIMINDA GLUTENSİZ MAKARNA: KOKUSUZ LİYOFİLİZE BALIK KATKISININ YAPISAL DAYANIKLILIK VE BİYİYARARLANIM ÜZERİNE ETKİLERİ.....	247
DENİZLİ İLİ HONAZ İLÇESİ KİRAZ BAĞÇELERİNİN BESLENME DURUMUNUN TOPRAK VE BİTKİ ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ	249
HYPER G-MATRICES AND THE RELATIONS BETWEEN LUCAS NUMBERS.....	250
HYPER G–MATRICES AND DUCCI DYNAMICS:A DISCRETE ALGEBRAIC CONNECTION.....	273
EQUIVALENCE PROPERTIES OF HYPERG-MATRICES.....	286
ZAMANSAL-MEKÂNSAL LSTM/GRU VE TRANSFORMER MODELLERİYLE TRAFİK AKIŞI TAHMİNİ	306
ENRON VERİ KÜMESİ ÜZERİNDE HİBRİT ÖZELLİK MİMARİSİ İLE E-POSTA ÖNEM SINIFLANDIRMASI	315
DEEP LEARNING ARCHITECTURE FOR ENTITY MATCHING OF BANK TRANSACTIONS AND INVOICE LINES	326
COST-SENSITIVE LEARNING FOR N1 SLEEP STAGE DETECTION: A COST-BENEFIT EVALUATION.....	334
AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA DESTEKLİ İHA AĞ SALDIRI TESPİT SİSTEMİ: PERFORMANS VE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ	335
IOT AĞLARINDA SIFIR-GÜN SALDIRILARININ TESPİTİ İÇİN ARTIK BAĞLANTILI OTOKODLAYICILAR: PERFORMANS VE OPERASYONEL KARARLILIK ANALİZİ.....	344
KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÜRÜN TASARIMINDA EKLEMELİ İMALAT VE KULLANICI DENEYİMİ	359

EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ: YAŞAM DÖNGÜSÜ VE DÖNGÜSEL TASARIM PERSPEKTİFİ	374
COMPARATIVE ANALYSIS OF RANDOM SEARCH-TUNED LSTM, GRU, AND BiLSTM MODELS FOR LITHIUM-ION BATTERY CAPACITY DEGRADATION PREDICTION	388
HAVA ARACI RAMP KONTROLLERİNDE TESPİT EDİLEN UÇAK SİSTEMLERİNE İLİŞKİN TEKNİK BULGULARIN KATEGORİK ANALİZİ VE AZALTIM YAKLAŞIMLARI	400
ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GÜÇLENDİRİLMİŞ KATMAN FORMÜLASYONUNDA SPEKTROSKOPİK VE TERMAL ANALİZ YAKLAŞIMI	401
GÜÇLENDİRİLMİŞ YENİ NESİL ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GELİŞTİRİLMESİ: TERSİNE MÜHENDİSLİKTEN PROTOTİPE BÜTÜNLEŞİK METODOLOJİ	412
RESTORING SECOND-ORDER ACCURACY TO THE FILTERED LEAPFROG SCHEME VIA A TEMPORAL PRE-FILTERING FRAMEWORK	422
ENERGY CONSUMPTION ESTIMATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING SESSION DATA USING MACHINE LEARNING METHODS FOR SUSTAINABLE ENERGY MANAGEMENT	423
THEORETICAL INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF LINAGLIPTIN	440
EPIGENETIC CONTROL OF IMPRINTED GENES IN PREIMPLANTATION MAMMALIAN EMBRYOS	446
MOLECULAR MECHANISMS OF HEART FIELD PATTERNING IN EARLY CHICK EMBRYOS	447
CRISPR-BASED CORRECTION OF MONOGENIC BLOOD DISORDERS IN HUMAN INDUCED PLURIPOTENT STEM CELL-DERIVED EMBRYOID BODIES.....	448
SINGLE-CELL TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF HUMAN BLASTOCYSTS TO MAP LINEAGE SEGREGATION	449
FUNCTIONAL ANALYSIS OF HOX GENE CLUSTERS IN VERTEBRAL COLUMN PATTERNING USING ZEBRAFISH MODELS	450
GENETIC BASIS OF NON-SYNDROMIC CLEFT LIP AND PALATE IN AZERBAIJANI FAMILIES: A WHOLE-EXOME APPROACH	451
CHARACTERIZATION OF MITOCHONDRIAL DNA VARIANTS IN EARLY EMBRYONIC DEVELOPMENT AND THEIR POTENTIAL IMPACT ON IMPLANTATION	452
ROLE OF WNT SIGNALING IN PRIMORDIAL GERM CELL SPECIFICATION IN A MURINE EMBRYONIC STEM CELL MODEL.....	453
BYZANTINE INFLUENCES ON BULGARIAN MEDIEVAL CHURCH ARCHITECTURE IN THE 10TH-12TH CENTURIES	454
OTTOMAN MOSQUE DESIGN EVOLUTION IN BULGARIAN CITIES DURING THE 16TH-18TH CENTURIES	455
BRUTALIST CONCRETE ARCHITECTURE AND ITS SOCIO-POLITICAL CONTEXT IN SOCIALIST BULGARIA	456
ISLAMIC GEOMETRIC PATTERNS IN ALGERIAN SAADIAN MOSQUE DECORATION SYSTEMS	457
FRENCH COLONIAL VILLA TYPOLOGIES AND CLIMATIC ADAPTATION IN ALGERIAN COSTAL CITIES.....	458
POST-WAR JAPANESE METABOLISM MOVEMENT AND URBAN GROWTH STRUCTURES IN TOKYO.....	459
TRADITIONAL JAPANESE TEMPLE CARPENTRY AND SEISMIC RESILIENCE PRINCIPLES	460
ZEN GARDEN DESIGN PRINCIPLES AND SPATIAL PERCEPTION IN KYOTO TEMPLE LANDSCAPES	461

INTEGRATED WASTEWATER TREATMENT STRATEGIES FOR NUTRIENT REMOVAL IN BULGARIAN MUNICIPAL PLANTS.....	462
ASSESSMENT OF URBAN AIR QUALITY AND TRAFFIC-RELATED POLLUTION IN SOFIA USING LOW-COST SENSOR NETWORKS.....	463
EVALUATION OF RIVER WATER QUALITY AND ECOSYSTEM HEALTH IN THE MARITSA BASIN UNDER AGRICULTURAL PRESSURE	464
SOLID WASTE MANAGEMENT CHALLENGES AND INFORMAL RECYCLING PRACTICES IN ALGERIAN MEDIUM-SIZED CITIES	465
ASSESSMENT OF GROUNDWATER VULNERABILITY TO CONTAMINATION IN COASTAL ALGERIAN AQUIFERS.....	466
LIFE CYCLE ASSESSMENT OF MUNICIPAL SOLID WASTE INCINERATION WITH ENERGY RECOVERY IN JAPANESE CITIES.....	467
URBAN STORMWATER MANAGEMENT AND GREEN INFRASTRUCTURE APPLICATIONS IN TOKYO RESIDENTIAL DISTRICTS	468
SIMULATING AND ANALYZING THE MOTION CHARACTERISTICS OF INDIVIDUAL ROCKFALLS: A STATISTICAL APPROACH	469
FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOCKITIC AND ASSOCIATED GRANITIC ROCKS IN THE AKURE AREA, SOUTHWESTERN NIGERIA	470
APPLICATION OF CSAMT METHOD IN INVESTIGATING COMPLEX ROCK MASS STRUCTURE AND CONCEALED TECTONIC FEATURES: CASE STUDIES	471
UNIFIED EQUATION FOR WATER SURFACE PROFILE ALONG SIDE WEIRS IN COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS	472
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	473
GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS AND COMPRESSION BEHAVIOR OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS	474
OPTIMIZING PRODUCTION WITH EJECTOR INSTALLATION: A CASE STUDY FROM OFFSHORE OPERATIONS IN THE NORTH WEST JAVA FIELD	475
EFFECTS OF SURFACE SCALPING ON THE STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF GRANULAR SOILS	476
STATISTICAL MODELING AND SIMULATION OF ROCKFALL DYNAMICS IN MOUNTAINOUS TERRAIN....	477
PETROGRAPHIC AND FIELD STUDY OF CHARNOKITIC AND GRANITIC FORMATIONS IN SOUTHWESTERN NIGERIA.....	478
APPLICATION OF CSAMT TECHNIQUE FOR INVESTIGATING COMPLEX TECTONIC STRUCTURES: CASE STUDIES FROM SOUTHEAST ASIA	479
MATHEMATICAL MODELING OF WATER SURFACE PROFILES ALONG COMBINED TRAPEZOIDAL AND EXPONENTIAL CHANNELS	480
COMPARATIVE ANALYSIS OF CO-SEISMIC GRAVITY VARIATIONS USING GRACE DATA AND FINITE-FAULT MODELS: CASE STUDY OF THE 2012 SUMATRA EARTHQUAKE	481

GEOTECHNICAL PROPERTIES AND COMPRESSIBILITY OF ORGANIC DREDGED SEDIMENTS IN MALAYSIAN COASTAL AREAS	482
OPTIMIZATION OF OFFSHORE PRODUCTION USING EJECTOR TECHNOLOGY: INSIGHTS FROM NORTHWEST JAVA FIELD	483
EXPLORING THE IMPACT OF BUSINESS MODEL INNOVATION ON FIRM VALUE: AN EVOLVING FRAMEWORK	484
STRUCTURAL DESIGN AND BLAST RESISTANCE ASSESSMENT OF A SINGLE-STORY CONTROL ROOM FOR A PETROLEUM REFINERY	485
EVALUATION OF ENVIRONMENTAL REPORTING PRACTICES IN THE CHEMICAL SECTOR: A COMPARATIVE ANALYSIS OF GRI DISCLOSURES.....	486
EXPLORING THE ROLE OF FIT IN ENHANCING SERVICE INNOVATION PERFORMANCE: A NOVEL MODEL	487
ETHICS AND LEGAL CONSIDERATIONS IN THE DIGITAL WORKPLACE: NAVIGATING THE INTERSECTION OF TECHNOLOGY AND ETHICS	488
ADVANCEMENTS IN REGIONAL MEDICAL IMAGING SYSTEMS: A COLLABORATIVE APPROACH	489
INVESTIGATION OF RF PERMEABILITY FOR INTEGRATING USN INTO SOC STRUCTURES: A CASE STUDY	490
ADAPTIVE HANDOFF DETECTION ALGORITHM UTILIZING RCST MOBILITY INFORMATION IN SATELLITE BEAM SYSTEMS.....	491
INTEGRATION OF VISION SYSTEM AND SIMULATION SOFTWARE FOR ENHANCED INDUSTRIAL ROBOT CAPABILITIES	492
MITIGATING UNPLANNED EXTUBATION RISKS IN PSYCHIATRIC LONG-TERM CARE FACILITIES	493
ENHANCED INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR EFFICIENT BRT OPERATIONS	494
ENHANCING INFORMATION SECURITY IN E-LEARNING THROUGH HUMAN IDENTIFICATION TECHNIQUES	495
ANALYZING GREY INCIDENCE WITHIN THE MACROSCOPIC FRAMEWORK OF THE LOGISTICS SECTOR	496
EXPLORING PERFORMANCE CHALLENGES OF DSRC RADIO TESTBEDS IN HIGH CHANNEL TRAFFIC SCENARIOS.....	497
EXAMINATION OF DELAYED PAYMENT ISSUES IN THE CONSTRUCTION SECTOR OF MALAYSIA	498

ASSESSMENT OF THE GENOTOXIC EFFECTS OF QUINALPHOS INSECTICIDE THROUGH THE *ALLIUM CEPA* TEST SYSTEM

Assoc. Prof. Dr. Fatih KUTLUER

Kırıkkale University, fatihkutluerkku@gmail.com-0000-0001-7035-0995

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

This study investigated the genotoxic effects of quinalphos insecticide on the biological model organism *Allium cepa* L. Mitotic index (MI), micronucleus (MN), and chromosomal abnormalities (CAs) were evaluated as markers of toxicity. *A. cepa* bulbs were divided into four groups. The control group was treated with tap water. The treatment groups were exposed to quinalphos at doses of 250, 500, and 1000 µg/L for 72 h. Cytogenetic analyses were performed on root samples obtained at the end of the period. The results showed that the highest MI values and the lowest MN and CAs frequencies were in the control group. Quinalphos exposure caused statistically significant dose-dependent reductions ($p<0.05$) in MI, while it led to significant increases ($p<0.05$) in MN and CAs frequencies. Compared to the control, MI decreased by 27.9%, and the most common type of abnormality observed was vagrant chromosome. In addition, CAs such as sticky chromosome, fragment, unequal chromatin distribution, bridging, vacuolated nuclei, and disorientation were detected. The findings demonstrated that quinalphos can cause genotoxic effects not only on target pests but also on non-target organisms. Therefore, selecting dose ranges that are most effective against pests but do not cause toxicity to non-target organisms is ecologically critical in pesticide applications.

Kew Words: *Allium cepa*, chromosomal aberrations, micronucleus, mitotic index, quinalphos.

1. INTRODUCTION

Quinalphos is an organophosphorus insecticide exhibiting high toxicity to vertebrates and invertebrates. It is widely used to control pests in agricultural crops such as cotton, peanuts, coffee, soybeans, rice, sugarcane, and potatoes [1]. Its mechanism of action is based on cholinesterase inhibition [2]. Its primary target is the acetylcholinesterase enzyme, which regulates synaptic transmission in cholinergic synapses by hydrolyzing the neurotransmitter acetylcholine. In addition to its inhibitory effect on the acetylcholinesterase enzyme, quinalphos has also been shown to promote oxidative stress in cells [3].

Classified as a class II pesticide by the World Health Organization, quinalphos is a major environmental concern due to its high toxicity and serious adverse effects on non-target organisms. For this reason, the European Union has banned the use of quinalphos in tea production and classified it as an extremely hazardous pesticide. Despite this, quinalphos is still widely used in some countries, such as India, to control pests in tea cultivation. In addition, some studies on rats have shown that quinalphos causes testicular toxicity and increases uterine weight [4].

In Türkiye, the production, sale, and use of products containing quinalphos are completely banned. However, stockpiling and previous practices prior to this ban indicate that environmental and ecological impacts may continue for some time. This is further supported by the detection of quinalphos residues in pesticide analyses conducted periodically in agricultural areas. On the other hand, the limited availability of effective alternative agents and economic constraints in some developing countries may lead to the continued use of quinalphos. This, in turn, brings with it environmental and health risks. This study aims to investigate the genotoxic effects of different quinalphos doses on *A. cepa*, a non-target organism.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Experimental Preparation

Allium cepa L. bulbs (2n = 16) obtained from a market in Giresun province were used as indicator organisms. Quinalphos insecticide (CAS No: 13593-03-08) from Merck was applied as a genotoxicity agent. The bulbs were divided into four groups:

- Group 1 (control): bulbs treated with tap water
- Group 2: bulbs exposed to 250 µg/L quinalphos
- Group 3: bulbs exposed to 500 µg/L quinalphos
- Group 4: bulbs exposed to 1000 µg/L quinalphos

In the experimental process, bulbs were placed in sterile glass beakers. The control group was germinated in tap water for 72 h, while the treatment groups were germinated with the specified

quinalphos doses for 72 h. At the end of the period, root tips were collected, washed with distilled water, and prepared for analysis using standard preparation techniques.

2.2. Assessment of Chromosomal Abnormalities and Micronucleus (MN) Test

Acetocarmine crushing technique was used to determine MN and CAs. Root tips cut to a length of 1 cm were kept in Clarke fixator for 2 h. Root tips were washed with 96% ethanol for 15 min and hydrolyzed in 1 N HCl at 60°C for 17 min. Following hydrolysis, samples were incubated in 45% acetic acid for 30 min. Root tips were stained with acetocarmine for 24 h, crushed on a slide and examined under a research microscope (Irmeco IM-450 TI) and photographed at ×400 magnification [5].

The presence of MN was evaluated according to the criteria proposed by Fenech et al. [6].

The mitotic index (MI) was determined according to the following formula.

$$\text{MI (\%)} = (\text{number of dividing cells} / \text{total number of cells}) \times 100$$

To count CAs, MNs, and MIs, 10 slides were prepared for each group. A total of 1.000 cells were examined for CAs and MN evaluation, and 10.000 cells were examined for MI evaluation. Cells at different stages of mitosis were used to determine all types of damage.

2.3. Statistical Analysis

Statistical analysis was performed using SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Turkey) software. Duncan's test and one-way analysis of variance (ANOVA) were applied. Results are presented as ± standard deviation (SD), and differences were considered statistically significant when $p < 0.05$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Findings regarding quinalphos-induced genotoxicity in *A. cepa* stem cells are presented in Figure 1 and Table 1. The highest MI values and the lowest MN and CAs numbers were recorded in the control group. In groups exposed to different doses of quinalphos, statistically significant decreases in MI ($p<0.05$) and significant increases in MN and CAs frequencies ($p<0.05$) were observed. The strongest genotoxic effect was detected at a dose of 1,000 µg/L quinalphos (Group IV). Compared to the control group, MI decreased by approximately 28% in this group, while MN and CAs values increased significantly. In addition, quinalphos exposure caused vagrant chromosome, sticky chromosome, fragment, unequal chromatin distribution, bridge, vacuolated nucleus, and disorientation in root cells. The most frequently observed abnormality among these was vagrant chromosome.

Although there is very little research on the genotoxic potential of quinalphos, the studies that have been conducted have emphasized its harmful effects on biological systems. Joy [7] showed that quinalphos in a 25% EC formulation significantly reduced MI in *A. cepa* root cells, increased CAs and MN formation, and caused cytogenetic toxicity. Similarly, Sadiqul et al. [8] exposed freshwater silver barb (*Puntius gonionotus*) to sublethal doses corresponding to 25% and 50% of the LC₅₀ of quinalphos. As a result, they showed that quinalphos caused changes in erythrocytes, led to DNA loss in tissues, and increased the frequency of MN.

The MI decrease observed in *A. cepa* root cells due to the effect of quinalphos suggests that cell division is suppressed in different processes of the cell cycle. One of the main reasons for this decrease may be that quinalphos-induced oxidative stress disrupts DNA integrity and causes disruptions at checkpoints in the cell cycle. Ineffective repair of DNA damage can prevent cells from entering the mitotic phase, leading to reductions in division. In addition, the potential inhibitory effect of quinalphos on macromolecules such as proteins and enzymes can directly affect mitotic stages by preventing spindle fiber formation and flawless chromosome separation. Therefore, these cellular and molecular-level effects of quinalphos provide strong evidence in explaining the decrease in mitotic activity. Similar interpretations supporting this view have also been reported in studies conducted by Bozkurt et al. [9] and Bıyıkşız et al. [10].

The increase in MN and CAs in *A. cepa* root cells caused by quinalphos is a strong indication that this insecticide causes genome instability. The main reason for this may be that quinalphos causes ROS formation in cells, leading to single or double-strand breaks in DNA. These breaks can lead to MN formation during mitosis. In addition, the effect of quinalphos on microtubule proteins can affect spindle fiber formation, restricting chromosome distribution and movement towards the poles, leading to separation errors and aneuploidy. These results reveal that quinalphos exhibits anogenic effects in addition to clastogenic effects. On the other hand, increased oxidative stress can disrupt DNA integrity, leading to increased MN and CAs and cellular apoptosis. This idea is supported by the studies of Karagöl et al. [11] and Sarsar et al. [12].

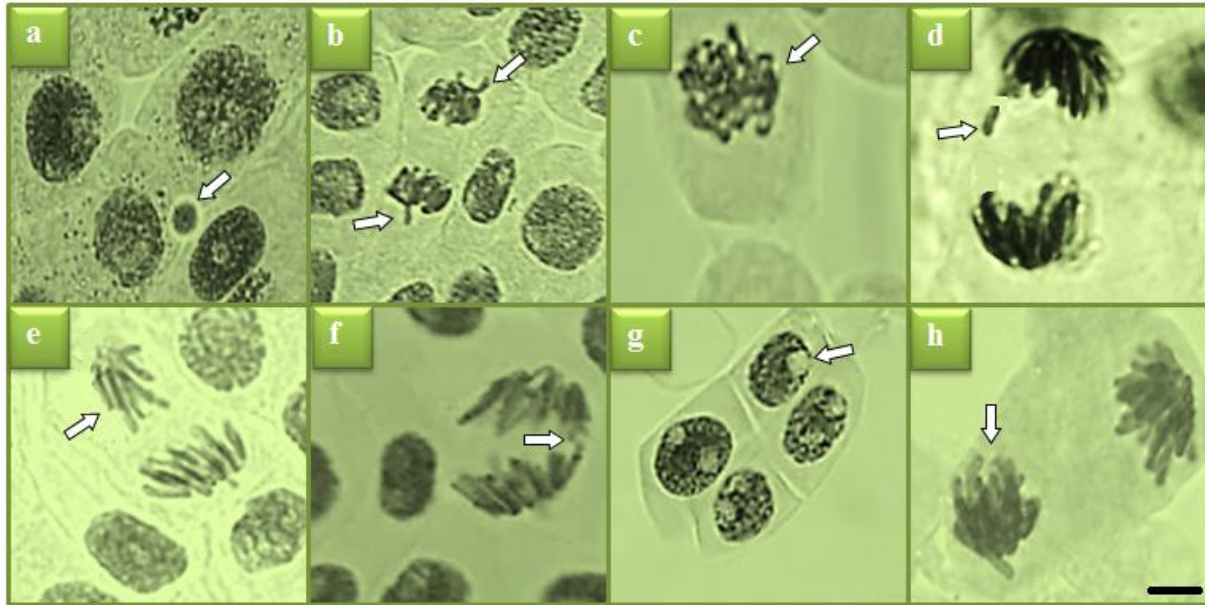


Figure 1. Chromosomal Damages Induced by Quinalphos: MN (a), Vagrant Chromosome (b), Sticky Chromosome (c), Fragment (d), Unequal Distribution of Chromatin (e), Bridge (f), Vacuolated Nucleus (g), and Reversed Polarity (h). Scale Bar = 10 μ m.

Table 1. Genotoxicity Induced by Quinalphos

Abnormalities	Group I	Group II	Group III	Group IV
MI	825 $\pm$ 15.8 ^a	756 $\pm$ 13.8 ^b	685 $\pm$ 11.6 ^c	595 $\pm$ 10.2 ^d
%	(8.25)	(7.56)	(6.85)	(5.95)
MN	0.30 $\pm$ 0.48 ^d	16.3 $\pm$ 1.32 ^c	35.8 $\pm$ 2.29 ^b	72.6 $\pm$ 4.15 ^a
VC	0.20 $\pm$ 0.42 ^d	15.1 $\pm$ 1.28 ^c	31.2 $\pm$ 2.16 ^b	67.4 $\pm$ 3.94 ^a
SC	0.17 $\pm$ 0.35 ^d	13.5 $\pm$ 1.16 ^c	27.0 $\pm$ 1.98 ^b	55.0 $\pm$ 3.52 ^a
FRG	0.00 $\pm$ 0.00 ^d	10.8 $\pm$ 0.96 ^c	22.4 $\pm$ 1.71 ^b	49.3 $\pm$ 3.14 ^a
UDC	0.16 $\pm$ 0.38 ^d	8.50 $\pm$ 0.92 ^c	18.0 $\pm$ 1.48 ^b	40.0 $\pm$ 2.85 ^a
B	0.10 $\pm$ 0.32 ^d	7.00 $\pm$ 0.88 ^c	15.2 $\pm$ 1.33 ^b	32.5 $\pm$ 2.26 ^a
VN	0.00 $\pm$ 0.00 ^d	6.30 $\pm$ 0.79 ^c	13.0 $\pm$ 1.18 ^b	28.0 $\pm$ 1.95 ^a
D	0.00 $\pm$ 0.00 ^d	4.80 $\pm$ 0.68 ^c	10.3 $\pm$ 0.98 ^b	23.8 $\pm$ 1.74 ^a

Group I: Control, Group II: 250 μ g/L quinalphos, Group III: 500 μ g/L quinalphos, Group IV: 1.000 μ g/L quinalphos. Values are presented as mean $\pm$ SD (n = 10). For MN and CAs, 1.000 cells per group were analyzed, while 10.000 cells per group were scored for MI. Means in the same row followed by different letters^(a-d) are significantly different at p<0.05. MI: mitotic index; MN: micronucleus; VC: vagrant chromosome; SC: sticky chromosome; FRG: fragment; UDC: unequal distribution of chromatin; B: bridge; VN: vacuolated nucleus; D: disorientation.

4. CONCLUSION

Quinalphos has been shown to cause genotoxicity in non-target plants like tobacco, such as *A. cepa*. This result demonstrates that pesticide application can have toxic effects not only on targeted pests but also on non-target organisms and environmental and ecological systems. To reduce genotoxic effects, it is essential to precisely determine application doses, limit exposure times, and prioritize alternative methods such as biological control. Furthermore, monitoring residue levels in agricultural lands, soil, and water, and increasing measures to protect non-target organisms are necessary. Only such approaches can contribute to the protection of ecosystems and the increase of agricultural productivity.

REFERENCES

- [1] Sadiqul, I.M., Kabir, S. M., Ferdous, Z., Mansura, K.M., Khalilur, R.M. Chronic Exposure to Quinalphos Shows Biochemical Changes and Genotoxicity in Erythrocytes of Silver Barb, *Barbonymus gonionotus*, Interdisciplinary Toxicology, 10(3), 99, 2017.
- [2] Van Cong, N., Kha, T.H., Hang, B.T.B., Dung, D.T., Nam, T.S. Toxicity of Insecticide Quinalphos-based Kinalux 25EC on Fingerling Climbing Perch (*Anabas testudineus*): Brain Cholinesterase and Growth Inhibitions, Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, 11, 101136, 2025.
- [3] Gökçe, B., Üçüncü, S.İ. Biochemical Evaluations of Quinalphos Eposed Zebrafish Liver Organotypic Tissue Culture, Journal of Scientific Perspectives, 3(4), 319-328, 2019.
- [4] Sujeeth, N.K., Aravinth, R., Thandeeswaran, M., Angayarkanni, J., Rajasekar, A., Mythili, R., Gnanadesigan, M. Toxicity Analysis and Biomarker Response of Quinalphos Organophosphate Insecticide (QOI) on Eco-Friendly Exotic *Eudrilus eugeniae* Earthworm, Environmental Monitoring and Assessment, 195(2), 274, 2023.
- [5] Sipahi Kuloğlu, S., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. LC–MS/MS Phenolic Profile and Remedial Role of *Urtica dioica* Extract Against Li₂CO₃-Induced Toxicity, Environmental Science and Pollution Research, 31(42), 54589-54602, 2024.
- [6] Fenech, M., Chang, W.P., Kirsch-Volders, M., Holland, N., Bonassi, S., Zeiger, E. HUMN Project: Detailed Description of The Scoring Criteria for the Cytokinesis-Block Micronucleus Assay Using Isolated Human Lymphocyte Cultures, Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, 534(1-2), 65-75, 2003.
- [7] Joy, A.. Cytogenetic Effects of Quinalphos 25% EC on the Root Tip Cells of *Allium cepa* L, International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 3(3), 123-125, 2021.
- [8] Sadiqul, I.M., Ferdous, Z., Nannu, M.T.A., Mostakim, G.M., Rahman, M. K. Acute exposure to a quinalphos containing insecticide (convoy) causes genetic damage and

- nuclear changes in peripheral erythrocytes of silver barb, *Barbonymus gonionotus*, Environmental Pollution, 219, 949-956, 2016.
- [9] Bozkurt, A., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. The Natural and Eco-Friendly Role of *Cassia angustifolia* in Reducing Carbaryl Toxicity at Environmentally Relevant Concentration, Scientific Reports, 15(1), 30776, 2025.
- [10] Bıyıklı, G., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. A Study Investigating the Multifaceted Toxicity Induced by Triflurmethin Insecticide in *Allium cepa* L, Scientific Reports, 15(1), 24839, 2025.
- [11] Karagöl, S., Macar, O., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Toxicological Assessment of Omethoate Insecticide in *Allium cepa* L, Scientific Reports, 15(1), 18663, 2025.
- [12] Sarsar, O., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. Multifaceted Investigation of Esfenvalerate-Induced Toxicity on *Allium cepa* L, Scientific Reports, 15(1), 16977, 2025.

MERISTEMATIC CELL ALTERATIONS IN *ALLIUM CEPA* EXPOSED TO DICOFOL

Assoc. Prof. Dr. Fatih KUTLUER

Kırıkkale University, fatihkutluerkku@gmail.com-0000-0001-7035-0995

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

This study investigated the toxic effects of dicofol, an organochlorine insecticide, on *Allium cepa* L. root cells from an anatomical perspective. In the experimental design, 72 h germination was performed with three different dicofol doses (0.15, 0.30, and 0.45 mg/L), while tap water served as a negative control. A total of 10 healthy bulbs were evaluated for each group, and thin sections from root tips were stained with methylene blue and subjected to microscopic examination. Findings indicated that dicofol application caused disruption of membrane integrity in epidermal cells and significant morphological damages. In cortical cells, cell wall thickening was observed as adaptive responses to maintain cellular integrity following membrane damage. Furthermore, at the nuclear level, various anomalies were noted, including flattened nuclei and increased nucleoli. These changes are thought to be related to dicofol's lipophilic nature, which allows it to penetrate the cell membrane, increase oxidative stress and reactive oxygen species production, and disrupt DNA and protein synthesis processes. At low concentrations (0.15 mg/L), mild effects were observed in all parameters, including epidermal cell damage, cortical cell wall thickening, nuclear flattening, and increased nucleoli. At medium concentrations (0.30 mg/L), the severity of damage increased, and nuclear anomalies persisted, albeit at a low level. At high concentrations (0.45 mg/L), the most pronounced and severe effects were observed in all parameters; particularly, severe deformations occurred in epidermal and cortical cells, and nuclear flattening and increased nucleoli occurred more intensely. These findings indicate that dicofol disrupts both the cell membrane and wall, as well as nuclear structures, with dose-dependent morphological and functional changes occurring in cells with increasing doses.

Key Words: *Allium* test, dicofol, meristematic cell damage, nuclear anomalies.

1. INTRODUCTION

Dicofol is an acaricide that is used in the field of agricultural control, particularly in the context of combating spider mites. This compound, which exhibits a high degree of chemical similarity to DDT, exists in the form of a white crystal or yellowish-brown solid. It is slightly soluble in water but readily soluble in organic solvents. Its utilization is extensive, encompassing cotton, citrus fruits, apples, pears, vegetables, and ornamental plants [1,2]. The mechanism of action of this compound is understood to involve interference with the nervous system of the mites, resulting in paralysis and ultimately leading to their demise. Dicofol exerts its effects on voltage-gated sodium channels located within the nerve cell membrane of mites. During nerve conduction, sodium channels undergo brief openings and closures, thereby generating action potentials. Dicofol has been demonstrated to inhibit the closure of these channels, thereby ensuring their persistent openness. This results in sustained depolarization of the cell membrane, overstimulation of nerve cells, uncontrolled muscle contractions, tremors, and paralysis, and ultimately, death of the mite. The enhanced efficacy of dicofol against mites can be attributed to its ability to target a distinct sodium channel configuration present in their nervous systems, which differs from that observed in insects. The substance exhibits weak toxicity to insects and low-to-moderate toxicity to mammals. However, it is noteworthy that this substance is highly toxic to fish [3,4]. Dicofol is a pesticide with significant toxic effects on human health and the environment. Acute exposure to this substance can result in a range of symptoms, including nausea, vomiting, headaches, irritability, muscle tremors and incoordination. Prolonged exposure, on the other hand, can lead to significant damage to the nervous system and liver. The substance in question has been demonstrated to cause irritation when in contact with the skin. Furthermore, it has been shown to cause redness and a burning sensation when in contact with the eyes. Moreover, research has demonstrated that dicofol has the capacity to disrupt the endocrine system, with a particular adverse impact on thyroid hormone metabolism. It is considered to be a potential carcinogen due to its structural similarity to DDT. From an ecological standpoint, the substance exhibits high toxicity towards fish, with lethal effects even at low concentrations. It demonstrates moderate toxicity towards birds and low toxicity towards bees. Due to its lipophilic structure, it has the capacity to accumulate in living tissues and be transported through the food chain, thereby increasing long-term ecological risks. Consequently, dicofol has been proscribed in numerous countries due to its environmental persistence and high toxicity [1,3,4].

The utilization of insecticides has been demonstrated to exert a diverse array of deleterious effects, extending beyond the intended target species to encompass other living organisms within the immediate environment. Organisms such as fish and amphibians, as well as those inhabiting the aquatic ecosystem, are particularly vulnerable to the effects of insecticides that contaminate water. Even low concentrations of these chemicals have been shown to have toxic effects. Although insecticides do not possess direct toxicity towards plants, they can exert an indirect influence on plant health in certain instances. The application of chemicals to the plant surface has been demonstrated to induce physiological stresses, including phosphorylation disorders in leaves, a decline in chlorophyll, a reduction in photosynthetic efficiency, and

stomatal closure. Furthermore, insecticides have been observed to persist in the soil for extended periods, with the potential to penetrate plants via root systems, thereby inducing imbalances in nutrient uptake. The observed effects in plants are contingent on the dose and application method. When administered in accordance with the recommended parameters, minimal effects on plants are observed; conversely, excessive or incorrect use can result in symptoms such as yellowing, growth retardation, and leaf drop [5].

In this study, the anatomical toxic effects of dicofol on *Allium cepa*, a non-target plant, were investigated. *A. cepa*, commonly known as the onion, is a frequently used model organism in a variety of scientific disciplines, including laboratory studies and toxicology research. The rapid division and easily analyzable structure of root tip cells facilitate the assessment of the cellular and tissue effects of chemicals. The present study demonstrates that dicofol can have deleterious effects not only on pests but also on plant anatomical structure and growth processes. This provides scientific data on the safe doses, environmental risks, and potential side effects on plant health of insecticides used in agriculture. Moreover, the findings contribute to the development of pesticide management and environmental protection strategies.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Experimental Design of the Study

The present study investigates the toxicity of Dicofol (CAS Number: 115-32-2). Three different dicofol doses were meticulously applied, and these dicofol concentrations were 0.15 mg/L, 0.30 mg/L, and 0.45 mg/L, respectively. The toxic effects of the three doses on *A. cepa* root tip cells were examined anatomically, and germination was carried out for 72 h. The study involved the formation of four distinct groups. Group I was administered tap water and served as the negative control group. Group II was germinated with 0.15 mg/L dicofol, Group III with 0.30 mg/L dicofol, and Group IV with 0.45 mg/L dicofol. For the purposes of the test, healthy and sound *A. cepa* bulbs were selected, and the outer skins were gently peeled to expose the root buds. The bulbs were then placed in glass beakers filled with the solution, ensuring that the root tips were in contact with the bulbs, and they were fixed upright. Subsequent to the elongation of the roots, the root tips were collected for the purpose of examination of the anatomical effects.

2.2. Anatomical Examination and Scoring

Thin sections were taken from root tip samples from each group. These sections were stained with methylene blue. A total of 10 *Allium* bulbs were used for each group. Five root tip sections were randomly taken from each bulb. Fifty preparations were prepared for each group, and areas containing the epidermis, cortex, and cell nuclei were examined under a microscope. Five photographs were taken from each preparation for each area examined, for a total of 250 photographs per group. The damage percentages and corresponding damage degrees according to the scoring ranges are summarized as follows: areas between 0% and 19.99% were

considered "no damage"; areas between 20% and 29.99% were categorized as "low damage"; areas between 30% and 49.99% were considered "moderate damage"; and areas between 50% and 100% were classified as "high damage".

3. RESULTS AND DISCUSSION

The damage induced by the insecticide dicofol in epidermal cells is demonstrated in Figure 1. Dicofol induced substantial impairment to the epidermal cells of *A. cepa* roots. As epidermal cells constitute the primary interface between the plant and its environment, they are particularly vulnerable to the effects of toxic chemicals. Dicofol, a compound with a lipophilic structure, has been shown to penetrate cell membranes with ease, thereby disrupting membrane integrity and inducing ion imbalances and water loss. Furthermore, the application of dicofol resulted in increased oxidative stress, triggering the production of free radicals and leading to membrane and organelle structural deterioration through lipid peroxidation. It is evident that epidermal cells undergo rapid division and growth in root tips; consequently, it can be posited that dicofol also affected the mitotic process, thereby causing deformation and structural damage to the cell structure. The combination of these mechanisms was identified as the primary cause of the observed damage to epidermal cells [3]. In addition, studies have reported epidermal cell damage in *A. cepa* treated with chemical agents [6-10].

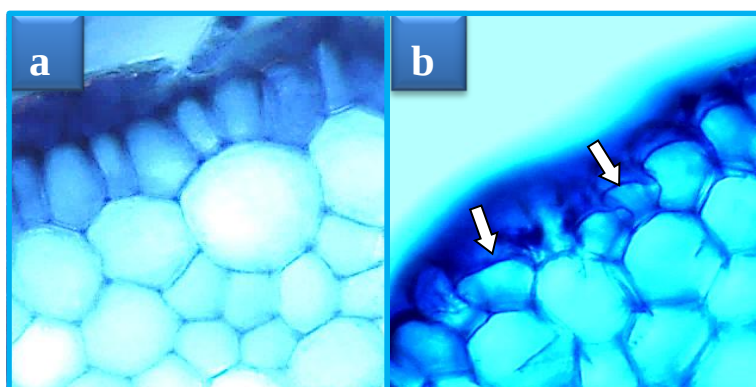


Figure 1. Meristematic Cell Damage Induced by Dicofol Insecticide. Normal Appearance of Epidermal Cells (a), Epidermal Cell Damage (b).

The cell wall thickening induced by dicofol insecticide in root tip cortex cells is shown in Figure 2. Cortex cells are sensitive to external factors because they provide mechanical support and transport in roots. Dicofol caused membrane damage in the cell, threatening cellular integrity. In response, the cells thickened their cell walls to increase structural strength and increased lignin and cellulose synthesis. Thus, cortex cells developed an adaptive defense mechanism against the toxic effects of dicofol [11,12]. Similarly, there are literature studies reporting thickening of cortex root cells in *Allium cepa* treated with chemicals agents [13,14].

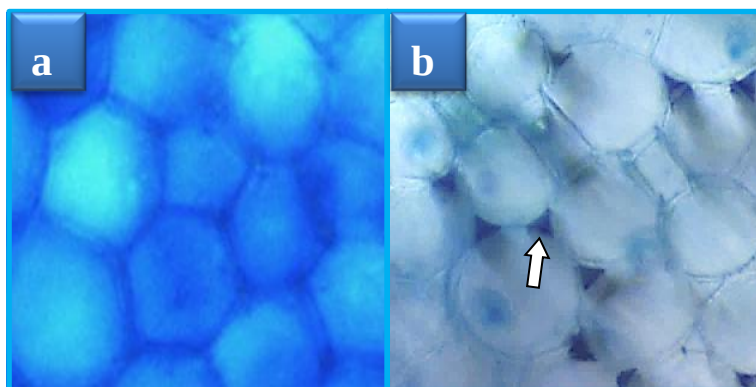


Figure 2. Meristematic Cell Damage Induced by Dicofol Insecticide. Normal Appearance of Cortex Cells (a), Thickening of the Cortex Cell Wall (b).

The flattened cell nucleus and increased nucleolus induced by dicofol insecticide are shown in Figure 3. Structural and functional changes induced by dicofol insecticide in cells generally develop due to cell stress and toxic effects. A flattened cell nucleus may be indicative of morphological changes due to disruption in the chromatin organization of the cell nucleus, DNA damage, and cytoskeletal stress. This is particularly associated with a slowdown in cell proliferation or nuclear deformation during the apoptosis process. The appearance of a single-nucleolus cell suggests suppression of ribosomal RNA synthesis or a decreased activity of the cell's metabolism, as nucleolus number generally parallels protein synthesis capacity. Conversely, an increase in nucleolus number in some cells may result from increased DNA damage repair mechanisms and the need for ribosomal biogenesis under intense stress conditions. Because dicofol is known to induce oxidative stress, the production of reactive oxygen species can lead to adaptive or degenerative responses in the nucleus and nucleolus. Therefore, these three distinct nuclear/nucleolus changes can be explained by the differential reflection of both the cytotoxic and genotoxic effects of the insecticide depending on cell type and metabolic activity [15-18].

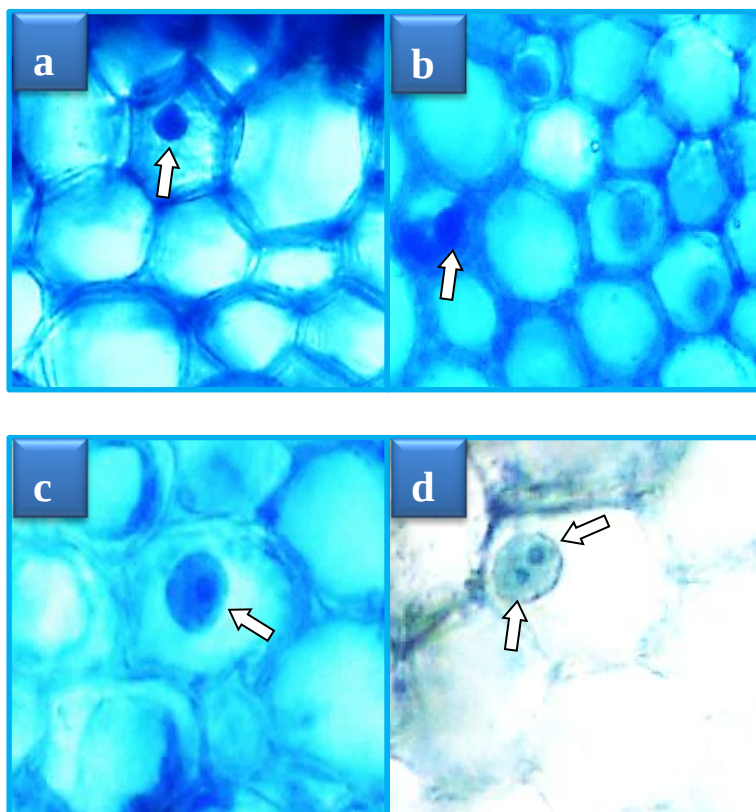


Figure 3. Nuclear Abnormalities Induced by Dicofol Insecticide. Normal Appearance of the Cell Nucleus-Oval (a), Flattened Cell Nucleus (b), Cell With a Single Nucleolus (c), Increased Number of Nucleoli (d).

The severity of meristematic cell damage induced by dicofol insecticide is shown in Table 1. It is clearly seen that dicofol application caused dose-dependent anatomical toxicity in *A. cepa* root cells. The fact that no damage was detected in the control group supports that the observed effects were due solely to dicofol application. At low concentration (0.15 mg/L), mild effects were observed in all parameters, including epidermal cell damage, cortical cell wall thickening, flattened cell nuclei, and increased nucleoli. At medium concentration (0.30 mg/L), the severity of damage in the epidermal and cortical tissues increased, and nuclear anomalies continued to be observed, albeit at a low level. At high concentration (0.45 mg/L), the most pronounced and severe effects were recorded in all parameters; particularly, severe deformations were observed in the epidermal and cortical cells, and flattening and increased nucleoli were more pronounced in the nucleus structure. These findings reveal that dicofol causes cytotoxic and genotoxic damage in cells by disrupting both the cell membrane and wall and nuclear structures with increasing doses.

Table 1. Severity of Meristematic Cell Damage Induced by Dicofol Insecticide

Groups	Ecd	Ccwt	Fcn	Ni
Group I	-	-	-	-
Group II	+	+	+	+
Group III	++	++	+	+
Group IV	+++	+++	++	++

Group I: Control, Group II: 0.15 mg/L dicofol, Group III: 0.30 mg/L dicofol, Group IV: 0.45 mg/L dicofol. Ecd: epidermis cell damage, Ccwt: cortex cell wall thickening, Fcn: flattened cell nucleus, Ni: nucleolus increase. (-): no damage, (+): low damage, (++): moderate damage, (+++): severe damage.

4. CONCLUSION

This study evaluated in detail the anatomical effects of the insecticide dicofol on *A. cepa* root cells. The findings revealed that dicofol application disrupted membrane integrity in epidermal cells, leading to morphological damage, and structural adaptations in cortical cells through cell wall thickening. Furthermore, dicofol altered nuclear morphology, leading to the development of various responses such as flattened nuclei and increased nucleoli. These results suggest that dicofol, due to its lipophilic nature, can easily penetrate the cell membrane, increase oxidative stress, trigger ROS production, and directly affect DNA and protein synthesis mechanisms. Therefore, it can be argued that the damage observed in *Allium cepa* root cells by dicofol may be due to both the insecticide's cytotoxic and genotoxic properties, and that these effects may manifest as morphological and functional changes in different cell types.

REFERENCES

- [1] European Chemicals Agency (ECHA). (n.d.). Substance information: Dicofol. ECHA. <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.003.711>. (Erişim tarihi: 03.12.2025).
- [2] Lewis, K.A., Tzilivakis, J., Warner, D., Green, A. An International Database for Pesticide Risk Assessments and Management, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 22(4), 1050-1064, 2016.
- [3] World Health Organization (WHO) & Food and Agriculture Organization (FAO). (1992). *Dicofol: Pesticide residues in food—1992 evaluations. Part II—Toxicology*. Inchem. <https://www.inchem.org/documents/jmpr/jmpmono/v92pr08.htm>. (Erişim tarihi: 03.12.2025).
- [4] Turusov, V., Rakitsky, V., Tomatis, L. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): Ubiquity, Persistence, and Risks, Environmental Health Perspectives, 110(2), 125–128, 2002.
- [5] Moore, D.R.J., McDonald, T.P. A Field Spray Drift Study to Determine the Downwind Effects of Pesticide Drift on Non-Target Terrestrial Plants, Environmental Toxicology and Chemistry, 40(3), 1025–1033, 2021.
- [6] Kesti, S., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Investigation of the Protective Role of *Ginkgo biloba* L. Against Phytotoxicity, Genotoxicity and Oxidative Damage induced by Trifloxystrobin, Scientific Reports, 14(1), 19937, 2024.
- [7] Yılmaz, H., Kalefetoğlu Macar, T., Macar, O., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. DNA Fragmentation, Chromosomal Aberrations, and Multi-Toxic Effects Induced by Nickel and the Modulation of Ni-Induced Damage by Pomegranate Seed Extract in *Allium cepa* L, Environmental Science and Pollution Research, 30(51), 110826-110840, 2023.
- [8] Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Spectroscopic Contribution to Glyphosate Toxicity Profile and the Remedial Effects of *Momordica charantia*, Scientific Reports, 12(1), 20020, 2022.
- [9] Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Yapar, K. Lycopene: An Antioxidant Product Reducing Dithane Toxicity in *Allium cepa* L, Scientific Reports, 13(1), 2290, 2023.
- [10] Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. Assessing the Combined Toxic Effects of Metaldehyde Molluscicide, Scientific Reports, 13(1), 4888, 2023.
- [11] Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Spectral Shift Supported Epichlorohydrin Toxicity and the Protective Role of Sage, Environmental Science and Pollution Research, 30(1), 1374-1385, 2023.
- [12] Kaya, M., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. DNA Fragmentation and Multifaceted Toxicity Induced by High-Dose Vanadium Exposure Determined by the Bioindicator *Allium test*, Scientific Reports, 13(1), 8493, 2023.

- [13] Kurt, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. GC–MS and HPLC Supported Phytochemical Analysis of Watercress and the Protective Role Against Paraben Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 6033-6046, 2023.
- [14] Macar, O., Macar, T. K., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Acar, A. (2022). Molecular Docking and Spectral Shift Supported Toxicity Profile of Metaldehyde Mollucide and the Toxicity-Reducing Effects of Bitter Melon Extract, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 187, 105201.
- [15] Kuloğlu, S. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A. Dose-Dependent Toxicity Profile and Genotoxicity Mechanism of Lithium Carbonate, *Scientific Reports*, 12(1), 13504, 2022.
- [16] Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Yapar, K. Lycopene: An Antioxidant Product Reducing Dithane Toxicity in *Allium cepa* L, *Scientific Reports*, 13(1), 2290, 2023.
- [17] Aydın, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Metal Chelating and Anti-Radical Activity of *Salvia officinalis* in the Ameliorative Effects Against Uranium Toxicity, *Scientific Reports*, 12(1), 15845, 2022.
- [18] Doğan, M., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. Comprehensive Toxicity Screening of Pazarsuyu Stream Water Containing Heavy Metals and Protective Role of Lycopene, *Scientific Reports*, 12(1), 16615, 2022.

**THE PROTECTIVE ROLE OF ROYAL JELLY AGAINST LAMBDA
CYHALOTHRIN-INDUCED DNA DAMAGA IN SWISS ALBINO MICE : COMET
ASSAY**

MSc. Zeynep Şule TOPATAN

Giresun University, zeynepsuletopatan@gmail.com-0000-0003-2066-1546

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

Lambda-cyhalothrin (LCT) is a synthetic pyrethroid insecticide that is widely used in agriculture to control pests. However, it causes genotoxic effects such as oxidative stress and DNA damage in non-target organisms. In this study, DNA damage induced by LCT insecticide in the liver cells of albino mice was determined by Comet assay method and the protective role of royal jelly against this damage was investigated. *Mus musculus* var. *albinos* were used as indicator organisms. A total of 36 mice were randomly divided into six groups with 6 subjects in each group: Control (Group I); 100 mg/kg bw royal jelly (Group II); 250 mg/kg bw royal jelly (Group III); 668 ppm LCT (Group IV); 100 mg/kg bw royal jelly + 668 ppm LCT (Group V); and 250 mg/kg bw royal jelly + 668 ppm LCT (Group VI). Royal jelly was administered seven days before LCT exposure and all applications were made orally. Comet analyses were performed using the TriTek 2.0.0.38 Automatic Comet Assay analysis program. The extent of DNA damage was determined by taking into account the tail DNA percentage. As a result, the highest percentages of head DNA in liver tissues were detected in the control and in Group II and Group III, which were treated only with royal jelly. On the contrary, In Group IV, which applied LCT, a decrease in head DNA percentage and an increase in tail DNA percentage were observed. Compared with the control group, the amount of tail DNA in Group IV increased by approximately 40.3%. Application of two different doses of royal jelly caused a decrease in the amount of tail DNA and an increase in the amount of head DNA. It was observed that these increases and decreases were more pronounced at the 250 mg/kg bw dose of royal jelly. Compared to Group IV, tail DNA amount in Group VI decreased by approximately 25.6%. This findings show that royal jelly considerably reduces LCT induced genotoxic damage and could be considered a potential natural bioprotective agent against environmental pollutants.

Key Words: Albino mouse, comet assay, royal jelly, lambda-cyhalotrin.

1. INTRODUCTION

Increasing industrialization and intensive agricultural activities are causing increased exposure of humans and other organisms to various environmental pollutants. Among these pollutants, pesticides in particular, despite widely used to enhance agricultural productivity, can cause serious toxic effects on the health of living and ecosystem balance [1]. Among the various pests that cause yield and quality loss agriculture production, insects stand out as one of the most primary biotic threats [2]. Agrochemicals used to deal with agricultural insect pests are insecticides, one of the subclasses of pesticides [3]. As a consequence of extended use of insecticides, they can penetrate organisms through soil, water and food chain and cause toxicity through bioaccumulation and biotransformation processes [4,5].

Strong toxic potential and environmental stability of organochlorine and organophosphate pesticides have led to the development of synthetic pyrethroids, which are highly effective against numerous insect species [6,7]. Lambda-cyhalotrin (LCT), which belongs to this chemical class, is preferred in agricultural applications owing to its effectiveness and environmental persistence [8]. LCT with the molecular formula $C_{23}H_{19}ClF_3NO_3$, can easily pass through cell membranes and build up in biological tissues due to its lipophilic character [9]. It act on voltage-gated sodium channels in insects, blocking them from closing; this triggers sustained excitation in nerve cells and lead to in muscle paralysis [10]. However, similar biochemical mechanisms can also lead to harmful effects in mammals, such as oxidative stress, lipid peroxidation, DNA fragmentation, and mitochondrial damage. When exposed to higher dosage or prolonged exposure to LCT, genotoxic and hepatotoxic damage occurs in kidney, liver, and brain tissues [11-13]. This situation demonstrates that insecticides can cause critical cellular damage not only in target species but also in non-target organism.

Studies are being conducted on the protective effects of naturally occurring antioxidant compounds that can mitigate chemically induced oxidative stress [14-20]. One of these natural compounds, royal jelly, is a bee product secreted by worker bees and used to feed young larvae and the queen bee, possessing high nutritional value. Thanks to its nutritionally valuable content including proteins, vitamins, phenolic compounds, and fatty acids, it prosseses antioxidant, anti-inflammatory, and antigenotoxic potential. Royal jelly (RJ) has the potential to scavenge free radicals at a cellular level, support the repair of DNA, and reduce the damage caused by oxidative stress [21].

In this study investigated the protective role of RJ against DNA damage caused by LCT, which also exhibits toxicity in non-target organisms. Particularly, DNA damage has been investigated in liver tissue, which is the primary detoxification center. The impact of LCT toxicity on DNA, as well as the protective role of RJ, were assessment by the comet assay. The comet assay is the preferred method for assessing genotoxic effects in toxicity studies owing to its simplicity, rapidity and sensitivity [21,22]. The findings of this study provide experimental substantiation

that royal jelly can be considered as a natural protective agent against pesticide-induced genotoxicity and aim to advance the scientific discipline of environmental toxicology.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Experimental Protocol

Lambda-sihalotrin (Karate 5EC, Syngenta Agrochemicals) was used as a genotoxic agent, while royal jelly (Health Genesis Corp., Bay Harbor Island, FL, USA) was used as a protective agent. A total of 36 male mice (*Mus musculus* var. *albino*), aged 12-14 weeks and weighing an average of 25-30g, were used in the experiment. The animals were housed in stainless steel cage specifications 26 × 15 × 50 cm; ambient conditions were standardized as 22 ± 3 °C, 55 ± 5% relative humidity, and a 12-hour light/dark cycle. A one-week adaptation period was implemented before the experiments began to allow the animals to adjust to the environmental conditions. A one-week acclimation period was provided before the experiments began to allow the animals to adjust to the environmental conditions. During this period, all subjects were provided standard pellet feed (Samsun, Turkey) and drinking water ad libitum. The procedures used in the experiment were conducted in accordance with international guidelines conducted by the World Health Organization (Geneva, Switzerland) and ethical principles approved by the Giresun University Local Animal Experimentation Ethics Committee. The albino mice used in the experimental study were randomly divided into six groups, with six animals in each group. The treatment protocols for each group were as follows: Group I (Control): tap water; Group II: 100 mg/kg RJ; Group III: 250 mg/kg RJ; Group IV: 668 ppm LCT; Group V: 100 mg/kg RJ + 668 ppm LCT; Group VI: 250 mg/kg RJ + 668 ppm LCT.

2.2. Comet Assay

The comet assay was performed according to the protocol proposed by Altunkaynak et al.[23]. A total of 1.000 cells per group were analyzed, and the percentage of DNA in the head and tail regions was quantified. The comet images were analyzed using TriTek's Automatic Comet Assay software (version 2.0.0.38). The extent of DNA damage observed in the photographed comet images was evaluated using the scale proposed by Jayawardena et al.[24].

2.3. Statistical Analysis

The SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Turkey) software was utilized to conduct Duncan's test and one-way ANOVA analysis on the collected data. The mean ± standard deviation (SD) is employed to present the data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The findings regarding DNA damage induced by LCT and RJ administration in the liver cells of albino mice are given in Table 1. In the comet experiment, DNA fragments are divided into two main parts as head DNA and tail DNA and the percentages of DNA in the head and tail give significant information about the damage. There was no statistically significant difference between the control group, Group II and Group III, which was treated with only RJ ($p>0.05$). In addition, a significant decrease in head DNA percentage and a significant increase in tail DNA percentage were observed in Group IV, which was exposed to LCT. These findings demonstrate that LCT leads to high levels of DNA strand breaks in liver cells and indicating genotoxic effects. In the Groups in which the protective potential of RJ was evaluated (Group V and Group VI), a tendency for reduced DNA damage parameters was observed. While the head DNA percentage increased in the groups co-administered with LCT and RJ, the tail DNA percentage decrease significantly. Particularly in Group VI, which was treated with RJ at a dose of 250 mg/kg bw, it was determined that tail DNA percentage decreased by 25.6% compared to Group IV. These findings indicate that RJ exhibits a dose-dependent antigenotoxic effect and significantly reduces DNA damage caused by LCT.

Studies reveal that LCT exposure causes a multifaceted toxicity mechanism through oxidative stress, inflammation, and DNA damage in cells [11,25]. Due to its lipophilic nature, LCT causes accumulation in biological membranes and increases the production of reactive oxygen species (ROS). This situation results in lipid peroxidation and suppression of the antioxidant defense system. Therefore, the decrease in antioxidant enzyme activities such as SOD, CAT and GSH triggers an inflammatory response in cells, leading to increased proinflammatory cytokine levels and mitochondrial dysfunction with DNA strand breaks. As a result, LCT exposure causes disruption of cellular integrity, inducing a systemic genotoxic stress response characterized by oxidative stress, inflammation, and fibrotic degeneration [13]. Similarly Çavuşoğlu et al. [11] observed that the toxicity of LCT resulted in chromosomal disorders due to the induction of oxidative stress in albino mice. However, the researchers demonstrated that RJ provided protection against LCT by reducing the impact of free radicals. Saleh et al. [26] reported that LCT toxicity increases intracellular oxidative stress, leading to DNA strand breaks and base modifications. In parallel, Fetoui et al. [25] showed that LCT toxicity causes an increase in ROS in renal tissue, suppression of antioxidant defense systems, and consequently damage to DNA and proteins. In addition, they reported that ascorbic acid markedly reduces this toxicity. Similarly, in our study, the administration of RJ as a protective agent reduced the tail DNA percentage. The decrease in tail DNA percentage with RJ application as a protective agent indicates that the antioxidant components in its content limit oxidative DNA damage by neutralizing free radicals. It demonstrated that limiting LCT-induced oxidative DNA damage by neutralizing free radicals thanks to its antioxidant components.

Table 1. Evaluation of the Protective Effects of RJ Against LCT-Induced DNA Damage Using the Comet Assay

Parameters	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI
Head diameter (px)	50.000	52.000	53.000	50.000	80.000	52.000
Head density	491.705	634.065	680.262	425.176	783.846	518.775
Head DNA (%)	96.5±1.52 ^b	98.0±1.41 ^{ab}	99.7±0.52 ^a	56.2±1.47 ^e	60.3±1.97 ^d	81.8±1.47 ^c
Tail length (px)	3.000	3.000	0.000	86.000	134.000	32.000
Tail density	17.931	12.909	1.909	331.086	515.876	115.653
Tail DNA (%)	3.50±1.52 ^d	2.00±1.41 ^d	0.30±0.52 ^e	43.8±1.47 ^a	39.7±1.97 ^b	18.2±1.47 ^c
Tail Moment	0.105552	0.059859	0.000000	37.650	53.186	5.833

Group I: control; Group II: 100 mg/kg bw RJ; Group III: 250 mg/kg bw RJ; Group IV: 668 ppm LCT; Group V: 668 ppm LCT + 100 mg/kg bw RJ; Group VI: 668 ppm LCT + 250 mg/kg bw RJ. Data are shown as mean ± SD (n = 10). For DNA damage, 1,000 cells were analyzed in each group. Means with different letters^(a-e) in the same row are significant at p < 0.05. Comet scale indicating DNA damage was based on the percentage of tail DNA. No or very little damage (≤5%), low damage (5–20%), moderate damage (20–40%), high damage (40–75%), and severe damage (≥75%).

4. CONCLUSION

Our findings indicated that exposure to LCT, a synthetic pyrethroid insecticide, lead to considerable DNA strands break in liver cells, while application of RJ crucial reduced this damage. This suggests that RJ, thanks to its antioxidant and antigenotoxic potential, can be used as a bio-protective agent countering insecticide-induced cellular damage. Therefore, bioactive natural compounds such as RJ can be regarded as supplementary nutritional components to reduce harmful effects of environmental pollutants.

REFERENCES

- [1] Devi, P. I., Manjula, M., Bhavani, R. V. Agrochemicals, Environment, and Human Health, Annual Review of Environment and Resources, 47, 1, 2022.
- [2] Oerke, E. C. Crop Losses to Pests, The Journal of Agricultural Science, 144, 1, 2006.
- [3] Sparks, T. C. Insecticide Discovery: An Evaluation and Analysis, Pesticide Biochemistry and Physiology, 107, 1, 2013.
- [4] Lushchak, V. I., Matviishyn, T. M., Husak, V. V., Storey, J. M., & Storey, K. B. Pesticide Toxicity: A Mechanistic Approach, EXCLI Journal, 17, 2018.
- [5] Ray, S., & Shaju, S. T. Bioaccumulation of Pesticides in Fish Resulting Toxicities in Humans Through Food Chain and Forensic Aspects, Environmental Analysis, Health and Toxicology, 38, 2023.
- [6] Elliott, M., Janes, N. F., Potter, C. The Future of Pyrethroids in Insect Control, 1978.
- [7] Gajendiran, A., Abraham, J. An Overview of Pyrethroid Insecticides, Frontiers in Biology, 13, 2, 2018.
- [8] He, L. M., Troiano, J., Wang, A., Goh, K. Environmental Chemistry, Ecotoxicity, and Fate of Lambda-cyhalothrin, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2008.
- [9] Ghosh, R., Banerjee, B., Das, T., Jana, K., Choudhury, S. M. Antigonadal and Endocrine-Disrupting Activities of Lambda-Cyhalothrin in Female Rats and Its Attenuation by Taurine, Toxicology and Industrial Health, 34, 3, 2018.
- [10] Silver, K. S., Du, Y., Nomura, Y., Oliveira, E. E., Salgado, V. L., Zhorov, B. S., Dong, K. Voltage-Gated Sodium Channels as Insecticide Targets, Advances in Insect Physiology, 46, 2014.
- [11] Cavusoglu, K., Yapar, K., Oruc, E., Yalcin, E. The Protective Effect of Royal Jelly on Chronic Lambda-cyhalothrin Toxicity: Serum Biochemical Parameters, Lipid Peroxidation, and Genotoxic and Histopathological Alterations in Swiss Albino Mice, Journal of Medicinal Food, 14, 10, 2011.
- [12] Tomar, M., Kumar, A., Kataria, S. K. Evaluation of Acute Toxicity of Lambda Cyhalothrin in *Mus musculus* L., Indian Journal of Experimental Biology, 53, 8, 2015.
- [13] Sakr, S., Rashad, W. A. Lambda-cyhalothrin-induced Pancreatic Toxicity in Adult Albino Rats, Scientific Reports, 13, 1, 2023.

- [14] Kutluer, F., Güç, İ., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Toxicity of Environmentally Relevant Concentration of Esfenvalerate and *Taraxacum officinale* Application to Overcome Toxicity: A Multi-bioindicator In-vivo Study, *Environmental Pollution*, 373, 2025.
- [15] Topatan, Z. Ş., Kalefetoğlu Macar, T., Macar, O., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A., Kutluer, F. Alleviatory Efficacy of *Achillea millefolium* L. in Etoxazole-Mediated Toxicity in *Allium cepa* L., *Scientific Reports*, 14, 2024.
- [16] Kesti, S., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Investigation of the Protective Role of *Ginkgo biloba* L. Against Phytotoxicity, Genotoxicity and Oxidative Damage Induced by Trifloxystrobin, *Scientific Reports*, 14, 2024.
- [17] Sipahi Kuloğlu, S., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. LC–MS/MS Phenolic Profile and Remedial Role of *Urtica dioica* Extract Against Li₂CO₃-Induced Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 2024.
- [18] Bakir Çilesizoğlu, N., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Sipahi Kuloğlu, S. Qualitative and Quantitative Phytochemical Screening of *Nerium oleander* L. Extracts Associated with Toxicity Profile, *Scientific Reports*, 12, 1, 2022.
- [19] Durhan, B., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A. Molecular Docking Assisted Biological Functions and Phytochemical Screening of *Amaranthus lividus* L. Extract, *Scientific Reports*, 12, 1, 2022.
- [20] Üst, Ö., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Özkan, B. LC–MS/MS, GC–MS and Molecular Docking Analysis for Phytochemical Fingerprint and Bioactivity of *Beta vulgaris* L., *Scientific Reports*, 14, 1, 2024.
- [21] Akgeyik, A. U., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Phytochemical Fingerprint and Biological Activity of Raw and Heat-treated *Ornithogalum umbellatum*, *Scientific Reports*, 13, 1, 2023.
- [22] Kocot, J., Kiełczykowska, M., Luchowska-Kocot, D., Kurzepa, J., Musik, I. Antioxidant Potential of Propolis, Bee Pollen, and Royal Jelly: Possible Medical Application, *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018, 1, 2018.
- [23] Altunkaynak, F., Cavusoglu, K., Yalcin, E. Detection of Heavy Metal Contamination in Batlama Stream (Türkiye) and the Potential Toxicity Profile, *Scientific Reports*, 13, 1, 2023.
- [24] Jayawardena, U. A., Wickramasinghe, D. D., Udagama, P. V. Cytogenotoxicity Evaluation of a Heavy Metal Mixture Detected in a Polluted Urban Wetland: Micronucleus and Comet Induction in the Indian Green Frog (*Euphlyctis hexadactylus*) Erythrocytes and the *Allium cepa* Bioassay, *Chemosphere*, 277, 2021.
- [25] Fetoui, H., Makni, M., Garoui, E. M., Zeghal, N. Toxic Effects of Lambda-Cyhalothrin, a Synthetic Pyrethroid Pesticide, on the Rat Kidney: Involvement of Oxidative Stress and Protective Role of Ascorbic Acid, *Experimental and Toxicologic Pathology*, 62, 6, 2010.
- [26] Saleh, M., Ezz-Din, D., Al-Masri, A. In Vitro Genotoxicity Study of the Lambda-cyhalothrin Insecticide on Sf9 Insect Cells Line Using Comet Assay, *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14, 2, 2021.

THE PROTECTIVE ROLE OF KOMBUCHA TEA AGAINST PHENOL-INDUCED DNA DAMAGE IN SWISS ALBINO MICE: COMET ASSAY

MSc. Zeynep Şule TOPATAN

Giresun University, zeynepsuletopatan@gmail.com-0000-0003-2066-1546

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

Phenol (PHE) is a toxic aromatic compound frequently used in industrial processes and can cause DNA damage through oxidative stress. In this study, DNA damage induced by PHE in the liver cells of albino mice was determined by comet assay method and the protective effect of Kombucha tea (KT) against this damage was investigated. *Mus musculus* var. *albinos* were used as indicator organisms. A total of 36 mice were randomly divided into six groups with 6 subjects in each group. The control group mice received only tap water, while the treatment group mice received KT at doses of 500 µl/kg bw and 1000 µl/kg bw, in combination with a 35mg/kg bw PHE solution. KT was prepared by adding sucrose to black tea, which was then fermented for 8–10 days using a symbiotic bacteria–yeast culture. All applications were administered via oral gavage. At the end of the experimental period, all mice were sacrificed and their liver tissues were collected. Comet analyses were performed using the TriTek 2.0.0.38 Automatic Comet Assay analysis program. The extent of DNA damage was determined by taking into account the tail DNA percentage. As a result, the highest percentages of head DNA in liver tissues were detected in the control and in Group II and Group III, which were treated only with KT. On the contrary, In Group IV, which applied PHE, a decrease in head DNA percentage and an increase in tail DNA percentage were observed. Compared with the control group, the amount of tail DNA in Group IV increased by approximately 90.9%. Application of two different doses of KT caused a decrease in the amount of tail DNA and an increase in the amount of head DNA. It was observed that these increases and decreases were more pronounced at the 1000 µl/kg bw dose of KT. Compared to Group IV, tail DNA amount in Group VI decreased by approximately 74.8%. In conclusion, the protective effect of KT supplementation against DNA damage induced by PHE becomes more pronounced as the dose increases.

Key Words: Albino mouse, comet assay, kombucha tea, phenol.

1. INTRODUCTION

The accumulation of various organic pollutants in the environment is increasing, causing significant health risks. Phenol (PHE) is one of the most common organic pollutants found in the environment due to industrial activities, chemical production processes and wastewater discharge into nature [1]. It can stay in the environment for ages due to its structure that is both difficult to biodegrade and resistant to oxidative degradation processes in water/atmosphere. Therefore, it poses a potential risk to human health and ecosystems [2]. PHE (C₆H₅OH), an ecologically critical pollutant, is an aromatic organic compound containing a hydroxyl (-OH) group directly attached to a benzene ring. This simple PHE structure is also known as benzophenol or hydroxybenzene. It is used as a raw material in industry [3,4]. Exposure to PHE is a condition that can cause serious clinical conditions such as neurotoxicity and coma by affecting the nervous system, significantly threatening the health of living organisms [5]. In addition, phenolic pollutants are known to have genotoxicity and endocrine-disrupting effects [6]. The toxicity mechanism of PHE is highly related to the lipophilicity of the compound. Biotransformation mechanisms in liver cells generally convert hydrophobic compounds into more excretable hydrophilic species. However, the detoxification process of PHE can, in certain situations, lead to the formation of reactive electrophilic intermediates that can bind to DNA and proteins, increasing toxicity [7]. Moreover, during the biotransformation of PHE, the production of reactive oxygen species (ROS) increases and this process triggers the oxidative stress response within the cell [8]. Therefore, cellular interaction with PHE directly triggers DNA strand breaks, leading to disruption of genetic integrity [9].

Kombucha tea (KT) is a functional beverage noted for its antioxidant properties. It is prepared by fermenting sugared tea with a symbiotic culture of acetic and lactic acid bacteria and yeast [10,11]. The microbial content of KT includes acetic acid and lactic acid bacteria such as *Acetobacter*, *Gluconobacter*, *Gluconacetobacter*, *Lactobacillus* and *Komagataeibacter* [12]. In addition, this symbiotic culture hosts various yeast species such as *Kloeckera*, *Candida*, *Pichia*, *Saccharomyces*, *Saccharomycodes*, *Torulospora* and *Zygosaccharomyces* [12,13]. During the fermentation process, yeast cells hydrolyze sucrose into glucose and fructose, producing ethanol and CO₂, while bacteria use ethanol and CO₂ to convert it into various organic acids such as acetic acid, gluconic acid and lactic acid [13]. This symbiotic interaction leads to the production of amino acids, polyphenols, vitamins and various other compounds with high antioxidant properties [14]. The biochemical effects of KT are based on various biological properties such as supporting detoxification processes, increasing antioxidant capacity, regulating energy metabolism and supporting the immune system thanks to the bioactive compounds it contains [15]. In the literature, studies indicating that the protective effect of KT on DNA damage associated with PHE are limited. Therefore, in this study, the effect of KT was evaluated by comet analysis in albino mice treated with PHE.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

Phenol (PHE) (Merck, CAS No: 108-95-2) was used as the genotoxic agent, while kombucha tea (KT), obtained by fermenting black tea and sucrose with a symbiotic bacteria-yeast culture, was used as the protective substance. A total of 36 healthy male *Mus musculus* var. *albino* mice, aged 12–14 weeks and weighing an average of 29.03 ± 1.45 g, were used in the experiment. During the experiment, the animals were housed in stainless steel cages ambient conditions, including 22 ± 3 °C, a relative humidity of $55 \pm 5\%$, and a 12-hour light/dark cycle. A one-week acclimation period was provided before the experiments began to allow the animals to adjust to the environmental conditions. During this period, all subjects were provided standard pellet feed (Samsun, Türkiye) and drinking water ad libitum. The experimental protocols were authorized by the Animal Experimentation Ethics Committee of the Faculty of Veterinary Medicine, Kırıkkale University, and were conducted in accordance with international guidelines of the World Health Organization (Geneva, Switzerland).

2.1. Cultivation Procedure for KT

KT is prepared by mixing water, tea, and kombucha yeast according to specific standards. The water is blended with 2% black tea after boiling. The mixture is left to settle for five min and then filtered under sterile conditions. After infusion, 20% sucrose was added. This was then dissolved, cooled to room temperature, and sterilized at 121°C for 20 min. The samples were then added to 1000 mL sterile glass containers in 200 mL quantities. Once the tea had cooled, inoculation was performed by adding a 3% (w/v) fresh tea fungus culture, which had been prepared under the same conditions for seven days, as well as a 10% liquid culture, which had been fermented under aseptic conditions. The glass jars are covered with a sterile cloth. Incubation was carried out in the dark at 28 ± 3 °C for 8-10 days. At the end of fermentation, the culture was centrifuged at 5000 rpm under sterile conditions. The supernatant was kept in polypropylene bottles at a temperature of 25°C [16]. No contamination occurred during fermentation. Kombucha yeast culture (KT) was obtained from the Department of Mushroom Cultivation at Kırıkkale University. The culture was preserved in sweetened black tea medium for future use.

2.2. Experimental Protocol

The albino mice used in the experimental study were randomly divided into six groups, with six subjects in each group. The treatment protocols for each group were as follows:

- Group I (Control): tap water only
- Group II: 500 µL/kg bw KT
- Group III: 1000 µL/kg bw KT
- Group IV: 35 mg/kg bw PHE
- Group V: 35 mg/kg bw PHE + 500 µL/kg bw KT.
- Group VI: 35 mg/kg bw PHE + 1000 µL/kg bw KT.

All treatments were administered orally via gavage once daily for 20 consecutive days. PHE solution (PDH, UK) is prepared daily in distilled water at a concentration of 35 mg/kg bw.

2.3. Comet Assay

The comet assay was performed in accordance with the protocol outlined by Altunkaynak et al. [17]. A total of 1.000 cells per group were analyzed, and the percentage of DNA in the head and tail regions was quantified. The comet images were analyzed using TriTek's Automatic Comet Assay software (version 2.0.0.38). The extent of DNA damage observed in the photographed comet images was evaluated using the scale proposed by Jayawardena et al. [18].

2.4. Statistical Analysis

The SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Turkey) software was utilized to conduct Duncan's test and one-way ANOVA analysis on the collected data. The mean $\pm$ standard deviation (SD) is employed to present the data.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the genotoxicity induced by PHE exposure on liver cells of Swiss albino mice and the protective potential of KT were evaluated by taking into account the comet assay results (Table 1). In the comet experiment, DNA fragments are separated into two main parts: head and tail DNA. The percentage of DNA in each part provides significant information about the extent of the damage. Significant differences were detected in terms of head DNA between the control group (Group I) and Groups II and III, which were treated with only KT ($p < 0.05$). On the other hand, no significant difference was found between Group II and Group III ($p > 0.05$). However, a significant decrease in head DNA percentage (90.7%) and a significant increase in tail DNA percentage (90.9%) were detected in Group IV exposed to PHE. These findings demonstrate that PHE induces high levels of DNA strand breaks in liver cells and causes genotoxic effect.

In the groups in which the protective potential of KT was evaluated (Group V and Group VI), a tendency for reduced DNA damage parameters was observed. While the head DNA percentage increased in the groups co-administered with PHE and KT, the tail DNA percentage decrease significantly. Particularly in Group VI, which was treated with KT at a dose of 1000 μ l/kg bw, it was determined that tail DNA percentage decreased by 74.8% compared to Group IV. These findings indicate that kombucha tea exhibits a dose-dependent antigenotoxic effect and significantly reduces DNA damage caused by PHE.

PHE compounds have the potential to trigger biochemical toxicity mechanisms by showing complex interactions on living cells. This causes tissue toxicity during biodegradation of phenol

and leads to the production of more harmful intermediate compounds. In a cellular environment, phenolic pollutants undergo an active transformation via the cytochrome P450 enzyme system, resulting in the production of more harmful electrophilic metabolites [19]. These active metabolites can cause mutagenicity and carcinogenicity by damaging DNA or other essential enzyme systems in living organisms [6]. Additionally, Bettiol et al. [20] observed that properties such as hydrophobicity and cell penetration potential of phenolic compounds can increase the level of toxicity in the cell. These toxicological processes support the high tail DNA percentage and low head DNA percentage observed in the PHE-treated groups in our study and indicate that PHE induces significant genotoxic stress in liver cells.

Studies in the literature show that oxidative stress induced by chemicals can lead to cellular damage and that antioxidant system can protect against such damage [21-27]. Consistently, there are various studies in the literature regarding the antioxidant capacity and cellular protective effects of KT. For instance, Yapar et al. [28] evaluated the protective effect of KT against PHE-induced cellular toxicity in liver cells of albino mice based on cytogenetic parameters (mitotic index, chromosomal abnormalities, etc.) and reported that KT administration reduced PHE-induced cytotoxicity. This study supports our findings showing that KT reduces phenol-induced DNA damage, as demonstrated by the comet assay. Similarly, the study conducted by Bellassoued et al. [29], KT was shown to decrease oxidative stress markers, reduce lipid peroxidation and strengthen the antioxidant defense system in rats fed a hypercholesterolemic diet. Moreover, researchers reported that this protective effect of KT is due to its antioxidant capacity, especially through polyphenols, organic acids and fermentation products. In our study, the decrease in tail DNA percentage and the increase in head DNA percentage confirm that KT's strong antioxidant capacity can mitigate oxidative stress-induced genotoxicity. The finding that DNA damage observed in Swiss albino mice after PHE exposure was dose-dependently and significantly reduced by KT administration scientifically supports KT as a potential protective agent against phenol-induced genotoxicity.

Table 1. Comet Assay of PHE and KT Treated Mice

Parameters	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V	Group VI
Head diameter (px)	26.000	26.000	26.000	16.000	32.000	28.000
Head density	120.510	139.945	148.260	68.420	363.820	175.854
Head DNA (%)	100±0.00 ^a	96.8±1.1 ^{7b}	95.4±1.3 ^{7b}	9.10±1.4 ^{7e}	65.6±1.9 ^{7d}	83.9±1.4 ^{7c}
Tail length (px)	1.000	2.000	3.000	76.000	54.000	22.000
Tail density	1	4.639	7.145	686.639	190.383	33.801
Tail DNA (%)	0.00±0.00 ^e	3.20±1.1 ^{7d}	4.60±1.3 ^{7d}	90.9±1.4 ^{7a}	34.4±1.9 ^{7b}	16.1±1.4 ^{7c}
Tail Moment	0.000008	0.064170	0.137930	69.113	18.550	3.546

Group I: control; Group II: 100 mg/kg bw RJ; Group III: 250 mg/kg bw RJ; Group IV: 668 ppm LCT; Group V: 668 ppm LCT + 100 mg/kg bw RJ; Group VI: 668 ppm LCT + 250 mg/kg bw RJ. Data are shown as mean ± SD (n = 10). For DNA damage, 1,000 cells were analyzed in each group. Means with different letters(a-e) in the same row are significant at p <0.05. Comet scale indicating DNA damage was based on the percentage of tail DNA. No or very little damage (≤5%), low damage (5–20%), moderate damage (20–40%), high damage (40–75%), and severe damage (≥75%).

4. CONCLUSION

This study revealed that PHE administration caused significant DNA damage to the liver tissue of Swiss albino mice and that this damage was significantly reduced in subjects treated with KT. Therefore, KT's reduction of PHE-induced genotoxicity suggests that its bioactive compounds may have a mitigating effect on oxidative damage in cells. It can therefore be concluded that KT can be considered a natural antioxidant supplement that mitigates the effects of environmental pollutants such as PHE.

REFERENCES

- [1] Otitoju, O. B., Alfred, M. O., Ogunlaja, O. O., Olorunnisola, C. G., Olukanni, O. D., Ogunlaja, A., Unuabonah, E. I. Pollution and Risk Assessment of Phenolic Compounds in Drinking Water Sources from South-Western Nigeria, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(31), 76798-76817, 2023.
- [2] Sun, J., Mu, Q., Kimura, H., Murugadoss, V., He, M., Du, W., Hou, C. Oxidative Degradation of Phenols and Substituted Phenols in the Water and Atmosphere: A Review, *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 5(2), 627-640, 2022.
- [3] Nair, C. I., Jayachandran, K., Shashidhar, S. Biodegradation of Phenol, *African Journal of Biotechnology*, 7, 25, 2008.
- [4] Anku, W. W., Mamo, M. A., Govender, P. P. Phenolic Compounds in Water: Sources, Reactivity, Toxicity and Treatment Methods, *Phenolic Compounds-Natural Sources, Importance and Applications*, 12, 419-443, 2017.
- [5] Menzikov, S. A., Morozov, S. G. Involvement of Brain GABAAR-Coupled Cl⁻/HCO₃⁻-Atpase in Phenol-Induced the Head-Twitching and Tremor Responses in Rats, *Neurotoxicology*, 71, 122-131, 2019.
- [6] Panigrahy, N., Priyadarshini, A., Sahoo, M. M., Verma, A. K., Daverey, A., Sahoo, N. K. A Comprehensive Review on Eco-Toxicity and Biodegradation of Phenolics: Recent Progress and Future Outlook, *Environmental Technology & Innovation*, 27, 102423, 2022.
- [7] Hansch, C., McKarns, S. C., Smith, C. J., Doolittle, D. J. Comparative QSAR Evidence for A Free-Radical Mechanism of Phenol-Induced Toxicity, *Chemico-Biological Interactions*, 127,1, 61-72, 2000.
- [8] Cho, K., Lee, C. H., Ko, K., Lee, Y. J., Kim, K. N., Kim, M. K., Oda, T. Use of Phenol-Induced Oxidative Stress Acclimation to Stimulate Cell Growth and Biodiesel Production by The Oceanic Microalga *Dunaliella salina*, *Algal Research*, 17, 61-66, 2016.
- [9] Negritto, M. C., Valdez, C., Sharma, J., Rosenberg, C., Selassie, C. R. Growth Inhibition And DNA Damage Induced by X-Phenols in Yeast: a Quantitative Structure–Activity Relationship Study, *ACS Omega*, 2,12, 8568-8579, 2017.

- [10] Dufresne, C., Farnworth, E. Tea, Kombucha, and Health: A review, *Food Research International*, 33,6, 409-421, 2000.
- [11] Yang, Z., Zhou, F., Ji, B., Li, B., Luo, Y., Yang, L., Li, T. Symbiosis Between Microorganisms from Kombucha and Kefir: Potential Significance to the Enhancement of Kombucha Function, *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 160,2, 446-455, 2010.
- [12] Teoh, A. L., Heard, G., Cox, J. Yeast Ecology of Kombucha fermentation, *International Journal of Food Microbiology*, 95(2), 119-126, 2004.
- [13] Jayabalan, R., Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., Sathishkumar, M. A Review on Kombucha Tea—Microbiology, Composition, Fermentation, Beneficial Effects, Toxicity, and Tea Fungus, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 538-550, 2014.
- [14] Kapp, J. M., Sumner, W. Kombucha: A Systematic Review of the Empirical Evidence Of Human Health Benefit, *Annals of Epidemiology*, 30, 66-70, 2019.
- [15] Vîna, I., Semjonovs, P., Linde, R., Deniņa, I. Current Evidence on Physiological Activity and Expected Health Effects of Kombucha Fermented Beverage, *Journal of Medicinal Food*, 17(2), 179-188, 2014.
- [16] Sadjadi, J. *Cutaneous anthrax* associated with the kombucha mushroom in Iran, *Jama*, 280(18), 1567-1568, 1998.
- [17] Altunkaynak, F., Cavusoglu, K., Yalcin, E. Detection of Heavy Metal Contamination in Batlama Stream (Turkiye) and the Potential Toxicity Profile, *Scientific Reports*, 13(1), 11727, 2023.
- [18] Jayawardena, U. A., Wickramasinghe, D. D., Udagama, P. V. Cytogenotoxicity Evaluation of A Heavy Metal Mixture, Detected in A Polluted Urban Wetland: Micronucleus and Comet Induction in the Indian Green Frog (*Euphlyctis Hexadactylus*) Erythrocytes and the *Allium cepa* Bioassay, *Chemosphere*, 277, 130278, 2021.
- [19] Kalgutkar, A. S., Gardner, I., Obach, R. S., Shaffer, C. L., Callegari, E., Henne, K. R., Harriman, S. P. A Comprehensive Listing of Bioactivation Pathways of Organic Functional Groups, *Current Drug Metabolism*, 6(3), 161-225, 2005.
- [20] Bettiol, C., De Vettori, S., Minervini, G., Zuccon, E., Marchetto, D., Ghirardini, A. V., Argese, E. Assessment of Phenolic Herbicide Toxicity and Mode of Action by Different Assays, *Environmental Science and Pollution Research*, 23,8, 7398-7408, 2016.
- [21] Kutluer, F., Güç, İ., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Toxicity of Environmentally Relevant Concentration of Esfenvalerate and *Taraxacum officinale* Application to Overcome Toxicity: A Multi-bioindicator In-vivo Study, *Environmental Pollution*, 373, 2025.
- [22] Topatan, Z. Ş., Kalefetoğlu Macar, T., Macar, O., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A., Kutluer, F. Alleviatory Efficacy of *Achillea millefolium* L. in Etoxazole-Mediated Toxicity in *Allium cepa* L., *Scientific Reports*, 14, 2024.
- [23] Kesti, S., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Investigation of the Protective Role of *Ginkgo biloba* L. Against Phytotoxicity, Genotoxicity and Oxidative Damage Induced by Trifloxystrobin, *Scientific Reports*, 14, 2024.

- [24] Sipahi Kuloğlu, S., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. LC–MS/MS Phenolic Profile and Remedial Role of *Urtica dioica* Extract Against Li₂CO₃-Induced Toxicity, Environmental Science and Pollution Research, 31, 2024.
- [25] Bakir Çilesizoğlu, N., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Sipahi Kuloğlu, S. Qualitative and Quantitative Phytochemical Screening of *Nerium oleander* L. Extracts Associated with Toxicity Profile, Scientific Reports, 12, 1, 2022.
- [26] Durhan, B., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A. Molecular Docking Assisted Biological Functions and Phytochemical Screening of *Amaranthus lividus* L. Extract, Scientific Reports, 12, 1, 2022.
- [27] Üst, Ö., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Özkan, B. LC–MS/MS, GC–MS and Molecular Docking Analysis for Phytochemical Fingerprint and Bioactivity of *Beta vulgaris* L., Scientific Reports, 14, 1, 2024.
- [28] Yapar, K., Cavusoglu, K., Oruc, E., Yalcin, E. Protective Effect of Kombucha Mushroom (KM) Tea on Phenol-Induced Cytotoxicity in Albino Mice, Journal of Environmental Biology, 31(5), 615, 2010.
- [29] Bellassoued, K., Ghrab, F., Makni-Ayadi, F., Pelt, J. V., Elfeki, A., Ammar, E. Protective Effect of Kombucha on Rats Fed a Hypercholesterolemic Diet is Mediated by Its Antioxidant Activity, Pharmaceutical Biology, 53(11), 1699-1709, 2015.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE ALGORITHMS FOR PREDICTIVE ANALYTICS IN KAZAKHSTAN'S HEALTHCARE SYSTEM

Prof. Dr. Aigerim Tuleuova
Nazarbayev University, Kazakhstan

Assis. Prof. Dr. Yerzhan Bakyt
Nazarbayev University, Kazakhstan

Dr. Valentina Sarsembayeva
Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Abstract

This study investigates the implementation and optimization of artificial intelligence (AI) algorithms within Kazakhstan's healthcare infrastructure, focusing on predictive analytics for patient risk assessment and resource allocation. Using a combination of neural networks and machine learning models, the research analyzes patient datasets from regional hospitals to forecast disease outbreaks and readmission risks. Results show a measurable improvement in early intervention and the efficient allocation of medical resources. The project identifies gaps related to data interoperability, privacy regulations, and the need for localized training datasets to achieve higher accuracy. Collaborative development between university computer scientists and medical practitioners is highlighted as essential for algorithm adaptation and trust building. The study concludes that while AI offers transformative potential for healthcare delivery, systemic integration requires not only technical validation but also institutional support and public engagement. Policy recommendations are offered for standardizing data formats, ethical guidelines, and continual cross-disciplinary education to ensure responsible scaling of predictive analytics in Kazakhstan.

Keywords: artificial intelligence, predictive analytics, healthcare, machine learning, Kazakhstan

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION OF SMART CITY TRANSPORTATION NETWORKS IN ALMATY

Dr. Nursultan Baimurzin

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Kazakhstan

Bibigul Amanzhol

Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Kazakhstan

Abstract

This paper presents mathematical models and optimization techniques for developing efficient transportation networks in the context of Almaty's ongoing smart city initiative. Employing graph theory, linear programming, and combinatorial optimization, the research studies real-time vehicular data, public transit logistics, and pedestrian flows to develop adaptive routing algorithms. Simulations and urban mobility data analyses reveal optimal network configurations that can minimize congestion, reduce emissions, and enhance commuter experience. The feasibility of real-time feedback systems and dynamic re-routing using IoT (Internet of Things) nodes is explored. Challenges discussed include data incompleteness, integration with legacy systems, and alignment with municipal governance structures. Recommendations highlight the value of modular algorithm design and participatory planning, advocating stronger ties between academic research, private sector technology companies, and city planners to achieve resilient urban transport frameworks.

Keywords: mathematical modeling, optimization, smart city, transportation networks, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF EDUCATIONAL SOFTWARE FOR MATHEMATICS TEACHING IN SECONDARY IRAQI SCHOOLS

Prof. Dr. Samir Abbass
University of Baghdad, Iraq

Assis. Prof. Dr. Noor Fayez
University of Baghdad, Iraq

Abstract

This research addresses the design and implementation of educational software tailored for mathematics curricula in Iraqi secondary schools. The project details user-centered design principles, engagement with educators, and the development of localized content in Arabic and English. Evaluation of prototype software in classroom environments demonstrates improved student problem-solving skills, conceptual understanding, and motivation. Data from teacher interviews and student assessments reveal both enthusiasm and logistical barriers, including limited access to computers, internet instability, and the need for ongoing teacher training. The study concludes that customized software must align with local educational standards, with recommendations focusing on teacher involvement in content creation, community engagement, and government investment in digital infrastructure for sustainable impact in mathematics education across Iraq.

Keywords: educational software, mathematics education, Iraq, secondary schools, e-learning

**ADVANCED APPLIED ALGEBRAIC METHODS FOR CRYPTOGRAPHIC
SECURITY IN IRAQI E-GOVERNMENT SYSTEMS**

Dr. Lamia Jawad
University of Basrah, Iraq

Yousef Abdul-Rahman
University of Basrah, Iraq

Abstract

This article presents recent progress in applied algebraic methods for the cryptographic security of e-government systems in Iraq. The study evaluates algebraic structures such as finite fields, elliptic curves, and modular arithmetic for their effectiveness in public key infrastructure, secure authentication, and digital signature schemes. Case studies include simulated attacks, vulnerability assessments, and comparative benchmarking of custom versus international cryptographic standards. Results highlight areas of both robustness and potential weaknesses unique to Iraq's digital landscape. Recommendations emphasize increased research funding, collaboration with cybersecurity experts, and continuous cryptology education for IT personnel in government agencies, thereby strengthening national digital security and resilience.

Keywords: cryptography, algebra, e-government, cybersecurity, Iraq

SOFTWARE ENGINEERING CHALLENGES AND AGILE PRACTICES IN SOFTWARE FIRMS OF LAOS

Prof. Dr. Viengxay Khamphoumy
National University of Laos, Laos

Dr. Sombath Malathep
National University of Laos, Laos

Manivone Sengchanh
National University of Laos, Laos

Abstract

This comprehensive study analyzes current software engineering challenges within Laos, particularly the adoption and adaptation of agile methodologies across software companies. Drawing on interviews with managers, developers, and clients, as well as project outcome analyses, the research highlights the benefits and barriers of agile transformation, including improved flexibility, faster delivery, but persistent difficulties in scaling, client communication, and backlog management. Cultural aspects such as hierarchical decision-making and educational background are also considered. Concrete recommendations focus on tailored agile training, iterative implementation strategies, and government incentives to foster the local tech ecosystem. The findings position Laos as a growing contributor to Southeast Asia's tech market, advocating for continued collaboration between academia and industry in software engineering research and training.

Keywords: software engineering, agile practices, Laos, technology industry, project management

ALGORITHMIC THINKING AND MATHEMATICS ACHIEVEMENT IN LAOS PRIMARY EDUCATION

Dr. Sivilay Kettavong
National University of Laos, Laos

Abstract

This paper explores the relationship between algorithmic thinking and mathematics achievement among primary school students in Laos. Through classroom experiments, diagnostic test analysis, and teacher interviews, the research finds that students exposed to systematic problem decomposition, pseudo-code exercises, and stepwise reasoning outperform peers on math assessments. Analysis includes insights into gender parity, rural-urban disparities, and resources for teacher development. Implementation challenges are noted, such as curriculum rigidities and technology gaps, but the advantages in logical reasoning, error detection, and perseverance are clear. The paper recommends integrating algorithmic activities into math curricula, with extensive teacher support and the adoption of age-appropriate problem-solving software.

Keywords: algorithmic thinking, mathematics achievement, primary education, pedagogy, Laos

BIG DATA ANALYTICS AND MACHINE LEARNING FOR BANGLADESHI FINANCIAL INSTITUTIONS

Prof. Dr. Md. Shah Alam
University of Dhaka, Bangladesh

Taslima Khan
University of Dhaka, Bangladesh

Mizanur Rahman
University of Chittagong, Bangladesh

Asmaul Husna
Jahangirnagar University, Bangladesh

Abstract

This article examines how financial institutions in Bangladesh leverage big data analytics and machine learning techniques to improve operational efficiency, risk management, and customer service. Drawing on case studies from leading banks, the research outlines technical frameworks for data collection, feature engineering, and predictive modeling. The study demonstrates substantial improvements in fraud detection, credit scoring, and personalized banking services, while also discussing data privacy, regulatory constraints, and workforce upskilling needs. The authors urge the creation of cross-university research centers and the modernization of analytics curricula to create a pipeline of skilled professionals capable of navigating both technological and ethical complexities of banking digitalization.

Keywords: big data analytics, machine learning, financial institutions, Bangladesh, digital banking

MATHEMATICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY IN BANGLADESH

Dr. Farhana Haque

Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

Prof. Dr. Abdullah Sarkar

Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

Hasan Al Mamun

Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

Abstract

This detailed study explores the mathematical principles underpinning blockchain technology, and its applications across various sectors in Bangladesh, including supply chain, agriculture, and digital identity management. Focusing on consensus algorithms, hash functions, and cryptographic protocols, the research highlights local pilot projects and theoretical models, while reviewing performance, scalability, and adoption barriers. Expert interviews highlight the demand for blockchain literate graduates and the necessity of government support for proof-of-concept ventures. The findings provide a roadmap for educators, policymakers, and industry stakeholders seeking to capitalize on secure, transparent technological solutions rooted in robust mathematical frameworks.

Keywords: blockchain, mathematics, Bangladesh, digital transformation, cryptography

**MERISTEMATIC CELL DAMAGE CAUSED BY SETHOXYDIM HERBICIDE IN
ALLIUM CEPA (ONION)**

Arş. Gör. Dr. Hüseyin YILMAZ

Giresun University, huseyin.yilmaz@giresun.edu.tr-0000-0003-3092-6165

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

This study investigated the anatomical effects of sethoxydim on the root meristem tissue of the non-target plant species *Allium cepa* L. *A. cepa* bulbs were divided into three treatment groups and one control group. The control group was germinated in tap water, while the treatment groups were germinated in sethoxydim solutions at doses of 25, 50, and 100 mg/L. After three consecutive germination days, cross-sections were taken from the roots of the bulbs in each group, stained with methylene blue, and examined under a research microscope. Comparison of the prepared sections from the control and treatment groups revealed that sethoxydim caused significant structural abnormalities in the root meristem. These changes included epidermal and cortical cell damage, thickening of cortical cell walls, flattened nucleus, and thickening of vascular tissue. The most pronounced structural changes occurred in the 100 mg/L sethoxydim treatment group (Group IV), and the severity of the damage was directly related to the dose. The findings demonstrate that sethoxydim causes significant anatomical distortions in the roots of *A. cepa*. Therefore, determining the most effective dose ranges for target species, but without causing toxicity to non-target organisms, should be essential.

Key Words: *Allium cepa*, meristematic cell damage, herbicide, sethoxydim.

1. INTRODUCTION

Pesticides are chemical substances used in parks, gardens, public areas, and agricultural lands to eliminate, reduce, or control pests [1]. To meet the food needs of the growing population and to protect crops against pests, producers frequently use pesticides, often exceeding the recommended application doses. According to data from the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the proportion of pesticides used solely for agricultural production globally increased by 13% in 2022 compared to the previous decade, reaching a total of 3.7 million tons of active substances. It should also be noted that most of these chemicals used in agriculture do not comply with international safety standards [2]. Excessive use of pesticides can lead to air, soil, and water pollution and reductions in biodiversity. Furthermore, such use threatens human health and can have harmful effects on non-target organisms [3].

Pesticides are classified according to their effects on organisms as herbicides, insecticides, fungicides, rodenticides, acaricides, and nematodes [4]. Among these, herbicides are the most widely used type of pesticide. They account for approximately 70% of the global pesticide market [5]. Although herbicides are designed to control weeds in agricultural areas and are widely used worldwide, numerous studies have reported that they cause adverse effects on other components of the ecosystem, including soil microorganisms [6], aquatic organisms [7], birds [8], bees [9], beneficial insects [10], non-target plants [11], and humans [12]. In humans, herbicide exposure can lead to a wide range of health problems, including acute poisoning and immune system disorders, diabetes, and cancer, depending on the duration and route of exposure [13].

Sethoxydim is a systemic herbicide of the cyclohexanedione-oxime class with selective weed control. It is applied to protect fields planted with crops such as cotton, sunflower, soybean, sugar beet, and tobacco against weeds such as wild oats, self-growing cereals, and foxtail [14]. Sethoxydim is absorbed by the leaves of the plant, transported to the plastids, and inhibits the acetyl-CoA carboxylase (ACC) enzyme. ACC is one of the two most important enzymes involved in fatty acid synthesis in plants [15]. Inhibition of this enzyme reduces the formation of malonyl-CoA, a precursor for fatty acid biosynthesis. As a result, the production of phospholipids, one of the essential components of cell membranes, is disrupted. This disruption can lead to growth retardation, chlorosis and necrosis in the leaves, and ultimately death [16]. Hosaka et al. [17] reported that sethoxydim application to maize seedlings inhibited primary root growth and caused chlorotic area formation in the leaves. Sethoxydim undergoes photodegradation when exposed to sunlight. As a result of this reaction, degradation products can be formed that are more toxic than the parent compound and may pose a potential risk to the environment [18].

Allium cepa is an important indicator organism used to assess the potential cytotoxic, genotoxic, and mutagenic effects of agents such as heavy metals, pesticides, industrial wastes, and nanoparticles. *A. cepa* test is frequently preferred in toxicity studies due to its speed, low cost,

ease of application, high dividing cell ratio in root meristem tissues, high sensitivity, and strong correlation of the results obtained with those obtained from tests on higher organisms [19]. This study aims to investigate the meristematic cell damage caused by sethoxydim in *A. cepa*, a non-target plant species.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

The methodology used in the experimental procedures is summarized in Table 1.

Table 1. Experimental Methodology

Test material	<i>Allium cepa</i> L.
Chromosome number	2n=16
Test chemical	Sethoxydim Merck (CAS Number: 74051-80-2)
Groups	Group I : Control Group II : 25 mg/L sethoxydim Group III : 50 mg/L sethoxydim Group IV : 100 mg/L sethoxydim
Germination	Before the experiment, <i>A. cepa</i> bulbs were rooted at 20–22 °C for 24 h. Ten rooted bulbs were selected for each group. The bulbs in Group 1 (control) were germinated in tap water, while those in Groups 2, 3, and 4 were germinated in sterile glass beakers containing 25, 50, and 100 mg/L sethoxydim solutions, respectively, at room temperature for 72 h continuously [20].
Anatomical examinations	The root tips were cut to a length of 1 cm, placed between Styrofoam sheets, and transverse sections were prepared using a razor blade. The sections were placed on slides and stained with 5% methylene blue for 2 min. After adding entellan and covering with a coverslip, the samples were examined under a research microscope with a camera attachment (Irmeco IM-450 TI model) and photographed at 200× magnification [21].

3. RESULTS AND DISCUSSION

The anatomical changes caused by Sethoxydim in the root meristem of *A. cepa* are shown in Table 2 and Figure 1. No damage was observed in the root meristem cells of the control group. However, Sethoxydim exposure caused epidermal cell damage, cortical cell damage, thickening of cortical cell walls, flattened cell nucleus, and vascular tissue thickening in all treatment groups. The most severe damage caused by sethoxydim in root cells was epidermal cell damage. Furthermore, the severity of this and other damages increased in a dose-dependent manner.

The results of this study are consistent with the few studies in the literature that examine the effect of sethoxydim on plant anatomical structure. Dowden [22] determined that sethoxydim application caused plasmolysis of the protoplasm in the intermediate meristem cells of *Sorghum halepense*, which led to changes and damage in the cell membrane, cell wall, and nucleus. Pereira et al. [23] observed changes in the leaf epidermis and bulliform cells of the forage plant *Urochloa brizantha* exposed to different doses of sethoxydim. Our results are also consistent with some studies that examined the anatomical damage caused by different herbicides in the root meristem cells of *A. cepa*. Yalçın and Çavuşoğlu [20] showed that exposure of *A. cepa* roots to 500 mg/L glyphosate caused damage to cortical and epidermal cells, flattened nuclei, and thickening of vascular tissues.

The epidermal and cortical cell damage and flattened nucleus observed in *A. cepa* root meristem cells after sethoxydim exposure suggest that this is due to mechanical pressure exerted by the roots to limit the entry of this herbicide into the cells. Microscopic examinations revealed an increase in epidermal and cortical cell numbers in the sethoxydim-treated groups compared to the control group. This increase could either hinder sethoxydim entry into the cells or increase intercellular contact, creating mechanical pressure. Consequently, it could lead to morphological changes in the epidermal and cortical cells and their nuclei.

Another cause of root cell damage may be the disruption of membrane integrity. Sethoxydim can cause lipid peroxidation in root cells, and the resulting loss of membrane integrity can lead to cell deformation [24]. Another mechanism developed to prevent the entry of sethoxydim into cortex cells is the thickening of cortex cell walls. Indeed, research has shown that plants activate a number of defense mechanisms to mitigate the destructive effects of pesticides. These can be listed as increased synthesis of certain compounds such as phytochelatin, metallothionein and proline, increased cell numbers, and thickening of cell walls and vascular tissues [20,25].

Table 2. Severity of Meristematic Cell Damage Induced by Sethoxydim Herbicide

Groups	ECD	TCCW	CCD	FCN	TVT
Group I	-	-	-	-	-
Group II	+	+	+	+	+
Group III	++	+	++	++	+
Group IV	+++	++	+++	+++	++

Group I: Control, Group II: 25 µg/L sethoxydim, Group III: 50 µg/L sethoxydim, Group IV: 100 µg/L sethoxydim. ECD: epidermal cell damage, TCCW: thickening of cortical cell walls, CCD: cortical cell damage, FCN: flattened cell nucleus, TVT: thickening in vascular tissues. (-): no damage, (+): slight damage, (++) : moderate damage, (+++) : severe damage.

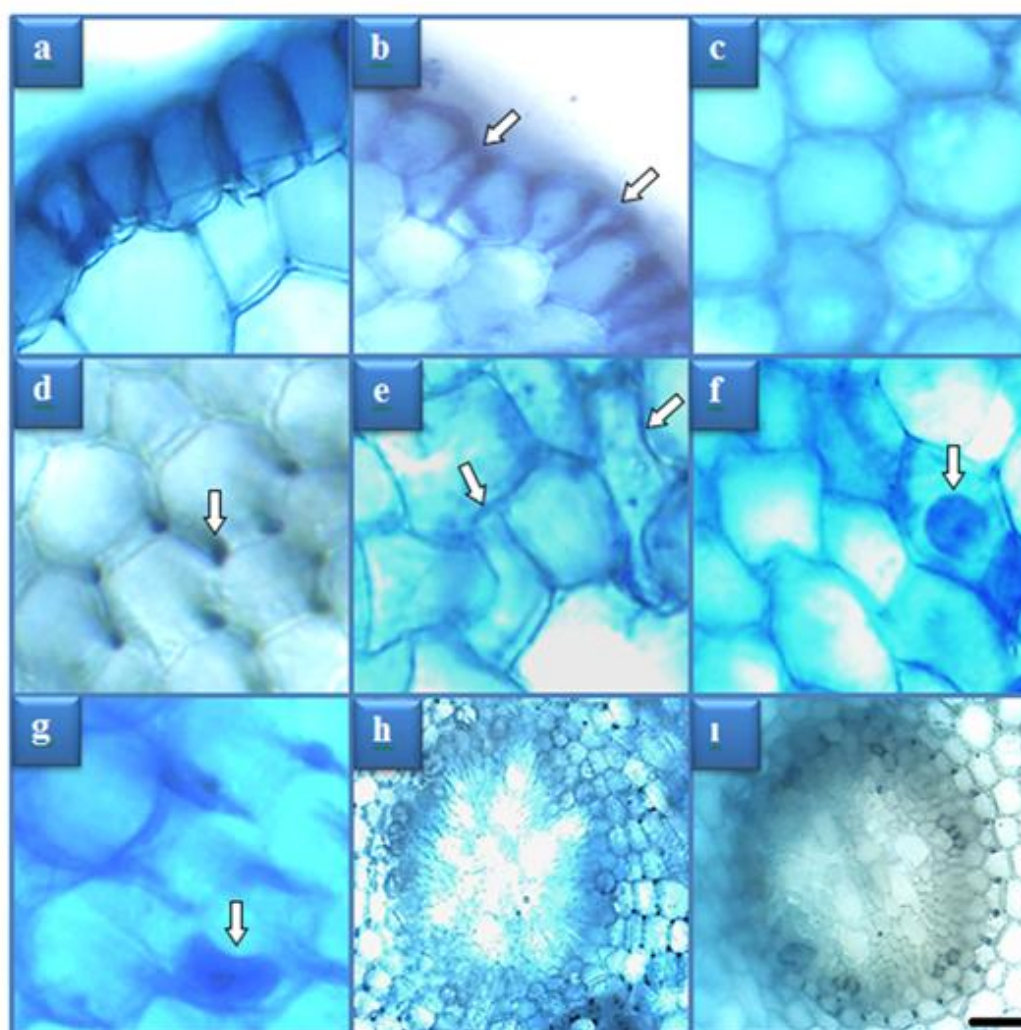


Figure 1. Meristematic Cell Damage Induced by Sethoxydim Herbicide. Normal Appearance of Epidermal Cells (a), Epidermal Cell Damage (b), Normal Appearance of Cortical Cells (c), Thickening of Cortical Cell Walls (d), Cortical Cell Damage (e), Normal Appearance Of Cell Nucleus – oval (f), Flattened Cell Nucleus (g), Normal Appearance Of Vascular Tissue (h), Thickening In Vascular Tissue (i). Scale Bar = 10 µM.

4. CONCLUSION

This study demonstrated that exposure to the herbicide sethoxydim causes significant anatomical changes in the root meristem cells of *A. cepa*, a non-target organism. This result once again highlights the importance of determining the optimum dose ranges that will only be effective on target species in herbicide applications. In other words, it draws attention to the importance of selecting and applying doses that will not have toxic effects on non-target plants and other elements of agricultural ecosystems. Therefore, raising awareness among producers, informing them about correct application techniques, and ensuring and monitoring strict adherence to usage instructions should be other important aspects to consider for sustainable agricultural management and environmental health.

REFERENCES

- [1] Garud, A., Pawar, S., Patil, M.S., Kale, S.R., Patil, S. A Scientific Review of Pesticides: Classification, Toxicity, Health Effects, Sustainability and Environmental Impact, *Environmental Impact, Cureus*, 16(8), e67945, 2024.
- [2] FAO, Pesticides Use and Trade 1990-2022, FAOSTAT Analytical Brief 89.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/a8a8c2c8-ee36-42e8-a619-7e73c8daf8a6/content> (Erişim tarihi: 04.12.2025).
- [3] Shattuck, A., Werner, M., Mempel, F., Duvinin, Z., Galt, R. Global Pesticides Use and Trade Database (GloPUT): New Estimates Show Pesticides Use Trends in Low-Income Countries Substantially Underestimated, *Global Environmental Change*, 81, 102693, 2023.
- [4] Shekhar, C., Khosya, R., Thakur, K., Mahajan, D., Kumar, R., Kumar, S., Sharma, A.K. A Systematic Review of Pesticide Exposure, Associated Risks, and Long-Term Human Health Impacts, *Toxicology Reports*, 13, 101840, 2024.
- [5] Cobb, A.H. Herbicides Discovery and Development, In book: *Herbicides and Plant Physiology*, pp. 28-61, Wiley-Blackwell Publishing, 2022.
- [6] Steiner, M., Falquet, L., Fragniere, A.L., Brown, A., Bacher, S. Effects of Pesticides on Soil Bacterial, Fungal and Protist Communities, Soil Functions and Grape Quality in Vineyards, *Ecological Solutions and Evidence*, 5, e12327, 2024.
- [7] Rumschlag, S.L., Mahon, M.B., Hoverman, J.T., Raffel, T.R., Carrick, H.J., Hudson, P.J., Rohr, J.R. Consistent Effects of Pesticides on Community Structure and Ecosystem function in Freshwater Systems, *Nature Communications*, 11, 6333, 2020.
- [8] Richard, F.J., Southern, I., Gigauri, M., Bellini, G., Rojas, O., Runde, A. Warning on Nine Pollutants and Their Effects on Avian Communities, *Global Ecology and Conservation*, 32, e01898, 2021.
- [9] Motta, E.V.S., Raymann, K., Moran, N.A. Glyphosate Perturbs the Gut Microbiota of Honey Bees, *PNAS*, 115(41), 10305-10310, 2018.
- [10] Basu, P., Ngo, H.T., Aizen, M.A., Garibaldi, R.A., Gemmill-Herren, B., Imperatriz-Fonseca, V., Klein, A.M., Potts, S.G., Seymour, C.L., Vanbergen, A.J. Pesticide

- Impact on Insect Pollinators, Current Knowledge and Future Research Challenges, Science of The Total Environment, 954, 176656, 2024.
- [11] Kerr, D.R., Hager, A.G., Allen, D., Leakey, A.B.D., Bowman, D., Williams II, M.M., Soybean (*Glycine max* L.) Canopy Response to Simulated Dicamba Vapor Drift Using Unmanned Aerial Sensing, Pest Management Science, 81, 6139-6149, 2025.
- [12] Galli, F.S., Mollari, M., Tassinari, V., Alimont, C., Ubaldi, A., Cuva, C., Marcoccia, D. Overview of Human Health Effects Related to Glyphosate Exposure, Frontiers in Toxicology, 6, 1474792, 2024.
- [13] Hongoeb, J., Tantimongcolwat, T., Ayimbila, F., Ruankham, W., Phopin, K. Herbicide-Related Health Risks: Key Mechanisms and A Guide to Mitigation Strategies, Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 20, 6, 2025
- [14] Zhou, W., Li, M., Achal, W. A Comprehensive Review on Environmental and Human Health Impacts of Chemical Pesticide Usage, Emerging Contaminants, 11, 100410, 2025.
- [15] Moran-Sevilla, B., Lopez-Goti, C., Alonso-Prados, J.L., Sardin-Espana, P. Aqueous Photodegradation of Sethoxydim Herbicide: Qtof Elucidation of its By-Products, Mechanism and Degredation Pathway, Science of the Total Environment, 472, 842-850, 2014.
- [16] Redina, A.R., Felts, J.M. Cyclohexanedione Herbicides are Selective and Potent Inhibitors of Acetyl-CoA Carboxylase from Grasses, Plant Physiology, 86, 983-986, 1988.
- [17] Belbekir, A., De Paepe, R., Tremolieres, A., Aid, F., Benhassaine-Kesri, G. Sethoxydim Affects Lipid Synthesis and Acetyl-CoA Carboxylase Activity in Soybean, Journal of Experimental Botany, 57(14), 3553-3562, 2006.
- [18] Hosaka, H., Inaba, H., Satoh, A., Ishikawa, H. Morphological and Histological Effects of Sethoxydim on Corn (*Zea mays*) Seedlings, Weed Science 32(6), 711-721, 1984.
- [19] Espana-Sardin, P., Moran-Sevilla, B., Lopez-Goti, C., Mateo-Miranda, M.M., Alonso-Prados, J.L. Rapid Photodegradation of Clethodim and Sethoxydim Herbicides in Soil and Plant Surface Model Systems, Arabian Journal of Chemistry, 9, 694-703, 2016.
- [20] Mercado, S.A.S., Caleno, C.D.Q. Cytotoxic Evaluation of Glyphosate, Using *Allium cepa* L. as Bioindicator, Science of The Total Environment, 700, 134452, 2020.
- [21] Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Spectroscopic Contribution to Glyphosate Toxicity Profile and the Remedial Effects of *Momordica charantia*, Scientific Reports, 12, 20020, 2022.
- [22] Tümer, C., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Screening the Toxicity Profile and Genotoxicity Mechanism of Excess Manganese Confirmed by Spectral Shift, Scientific Reports, 12, 20986, 2022.
- [23] Dowden, B. Ultrastructural Effect of Sethoxydim on the Intercalary Meristem of Johnsongrass (*Sorghum halepense*), Master Thesis, pp.137, Western Kentucky University, 1985.
- [24] Pereira, M.R.R., Martins, A.R., Martins, D., Sasso, G., Silva Jr, A.R. Effect of Sethoxydim Herbicide in the Leaf Anatomy and Physiology of Brachiaria Grass Under Water Stress, Planta Daninha, 35, e017162268, 2017.

- [25] Yirmibeş, F., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Protective Role of Green Tea Against Paraquat Toxicity in *Allium cepa* L.: Physiological, Cytogenetic, Biochemical, and Anatomical Assessment, Environmental Science and Pollution Research, 29(16), 23794-23805, 2022.
- [26] Çavuşoğlu, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A., Yapar, K. Molecular Docking and Toxicity Assessment of Spirodiclofen: Protective Role of Lycopene, Environmental Science and Pollution Research, 28(40), 57372-57385, 2021.

GENOTOXICITY INDUCED BY FLUMETSULAM HERBICIDE IN *ALLIUM CEPA* (ONION) MERISTEMATIC CELLS

Arş. Gör. Dr. Hüseyin YILMAZ

Giresun University, huseyin.yilmaz@giresun.edu.tr-0000-0003-3092-6165

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

This study investigated the genotoxic effects of the triazolopyrimidine herbicide Flumetsulam (FLU) on *Allium cepa* L. root cells. Mitotic index (MI), micronucleus (MN), and chromosomal abnormalities (CAs) were used to evaluate genotoxicity. Three treatment groups and one control group were formed from *A. cepa* bulbs. The control group was germinated with tap water, while the treatment groups were germinated with FLU solutions at doses of 10, 20, and 40 mg/L. After germination, root tips were crushed to prepare them for microscopic observation. The results showed that the highest MI value, the lowest MN frequency, and CAs were observed in the control group. In the FLU-treated groups, statistically significant increases ($p<0.05$) in MN frequency and CAs, and significant decreases ($p<0.05$) in MI values were detected. Furthermore, a completely dose-related correlation was determined between the severity of the observed changes with increasing FLU doses. Various CAs were observed in the FLU-treated groups, including vagrant chromosome, sticky chromosome, irregular chromatin distribution, fragment, bridge, vacuolated nucleus, and nuclear bud. Among these, vagrant chromosome was the most frequently observed abnormality. Consequently, FLU exposure caused genotoxicity in *A. cepa* root meristem cells. These results demonstrate the importance of determining doses that achieve the desired herbicide effect on targeted pests while minimizing toxic effects on non-target organisms.

Key Words: *Allium cepa*, genotoxicity, herbicide, flumetsulam.

5. INTRODUCTION

Pesticides are widely used chemical substances to minimize losses in agricultural products caused by harmful insects, weeds, microorganisms, and other pathogenic organisms. Currently, more than 2,300 active substances from approximately 60 different chemical classes are used in pesticide formulations [1]. Due to their high chemical stability, these substances can accumulate in environmental settings, especially with long-term and high-dose use, and can enter biological systems through the food chain. This poses a significant threat to the environment, ecosystems, and living organisms [2].

One of the most widely used groups of pesticides is herbicides. Herbicides constitute approximately 47.5% of the approximately 2 million tons of pesticides used annually worldwide [3]. Herbicides affect the metabolic processes of harmful plants, causing their death or inhibiting their growth [4]. Based on their chemical structure and application methods, herbicides are classified as either selective (affecting specific plant groups) or non-selective (affecting all vegetation) [5]. While herbicides are expected to be effective only in controlling weeds, it has become clear that widespread herbicide use can have negative effects on organisms, especially humans. These effects arise from various factors such as contact, inhalation, ingestion, consumption of contaminated food, and occupational exposure. Health problems related to herbicide exposure include respiratory and reproductive disorders, neurodegenerative diseases, congenital and immunological abnormalities, diabetes, and cancer [6].

Flumetsulam (FLU) is a broad-spectrum herbicide belonging to the triazolopyrimidine sulfonamide group, particularly effective against broadleaf weeds. It is commonly used to control weeds in fields planted with fruit, soybean, corn, and cereal crops, as well as in areas planted with yarrow, wild radish, buttercup, and mallow [7]. FLU exerts its effect by inhibiting acetolactate synthase (ALS), one of the important enzymes involved in the synthesis of branched-structure amino acids vital to plants, such as valine, leucine, and isoleucine [8,9]. ALS catalyzes the condensation of two pyruvate molecules or one pyruvate with 2-ketobutyrate, respectively forming acetolactate or acetohydroxybutyrate [10]. Inhibition of ALS by FLU disrupts cellular protein synthesis, leading to plant growth arrest and death. Some studies have shown that there are significant changes in the total microbial population and the metabolic activity of microorganisms in soils containing FLU [11].

Much of the current research on FLU focuses on product safety and residue levels. However, the number of studies examining the effects of FLU on non-target organisms is quite limited. Therefore, the aim of this study is to evaluate the potential genotoxic effects of the FLU herbicide on *A. cepa*, a non-target organism.

6. EXPERIMENTAL STUDIES

The detailed methodology used to conduct the experimental procedures is shown in Table 1.

Table 1. Experimental Methodology

Test material	<i>Allium cepa</i> L.
Chromosome number	2n=16
Test chemical	Flumetsulam Merck (CAS Number: 98967-40-9)
Groups	Group I : Control Group II : 10 mg/L FLU Group III : 20 mg/L FLU Group IV : 40 mg/L FLU
Germination	Before the experiment, <i>A. cepa</i> bulbs were rooted for 24 h at 20–22 °C. Ten rooted bulbs were selected for each group. Bulbs in the control group (Group I) were treated with tap water, while the experimental groups (Groups II, III, and IV) were continuously germinated for 72 h at room temperature in sterile glass beakers containing 10, 20, and 40 mg/L FLU solution, respectively [12].
Chromosomal abnormalities and micronucleus testing	The acetocarmine crushing technique was used in the preparation of root tips. Root tips were cut into approximately 1 cm lengths and fixed in Clarke's solution for 2 h. They were then washed with 96% alcohol for 15 min and hydrolyzed in 1 N HCl at 60 °C for 17 min. After hydrolysis, root tips were kept in 45% glacial acetic acid for 30 min and then stained with acetocarmine for 24 h. Prepared root tips were placed on slides, crushed, and covered with coverslips. The samples were examined under a camera-equipped research microscope (Irmeco IM-450 TI model) and photographed at 400× magnification [13].
MN detection	MN detection and counting were performed according to the criteria established by Fenech et al. [14].
Mitotic index calculation	MI (%) = [number of cells undergoing mitosis] / [total number of cells] x 100

7. RESULTS AND DISCUSSION

The level of DNA damage induced by FLU in *A. cepa* root meristem cells is given in Table 2 and Figure 1. The highest MI and the lowest MN and CAs numbers were observed in the control group. In the control group, no significant damage was detected except for a few vagrant chromosome, sticky chromosome, and MNs that were not statistically significant ($p>0.05$).

In the groups treated with FLU (Groups II, III, and IV), a dose-dependent statistically significant ($p<0.05$) decrease in MI was observed, while a significant ($p<0.05$) increase occurred in MN and CAs numbers. These changes were particularly noticeable in Group IV, which was exposed to the highest dose of FLU (40 mg/L). Compared to the control, a significant increase in MN and CAs and a 2.86% decrease in MI were observed in Group IV.

Various CAs, including vagrant chromosome, sticky chromosome, unequal chromatin distribution, fragment, bridge, vacuolated nucleus, and nuclear bud, were identified in the root cells of the FLU treatment groups. The most frequently observed abnormality was vagrant chromosome.

A detailed literature review revealed a lack of comprehensive studies investigating the genotoxic effects of FLU in plants. Therefore, the findings obtained were compared with the results of studies investigating the genotoxic effects of other herbicides in various plant species. Promkaev et al. [15] reported that pendimethalin exposure significantly increased the frequency of MN, chromosome bridges, fragments, and multipolarity in different maize and onion varieties, while decreasing MI. Özkan and Liman [16] found that MN and CAs increased with dose and MI decreased with dose in *A. cepa* root cells exposed to penoxsulam at concentrations of 12.5, 25, and 50 µg/L for 48 h.

It has been suggested that the decrease observed in MI following FLU exposure may be related to the disruption of tubulin polymerization, which is necessary for the structural stability of microtubules. There are some studies in the literature that support this hypothesis. Chen et al. [17] reported that herbicides bind to tubulin heterodimers, disrupting the structure and function of microtubules. This disruption can lead to a decrease in mitotic activity by inhibiting the progression of the mitotic cycle.

The increase in MN and CAs observed in *A. cepa* root cells following FLU exposure can be explained by two possible mechanisms. The first is that FLU directly interacts with DNA, causing damage. The second mechanism is that FLU indirectly causes damage by increasing ROS production in cells. The results of some studies in the literature clearly support these mechanisms. Bonfanti et al. [18] reported that the alachlor herbicide caused single and double-strand breaks in rats by directly binding to DNA. Eceiza et al. [19] observed significant

increases in ROS production, lipid peroxidation, and antioxidant enzyme activities in *Amaranthus palmeri* treated with ALS inhibitor herbicides.

In our study, the most frequently observed microscopic damages as a result of FLU application were vagrant and sticky chromosome damages. Vagrant chromosome result from abnormal spindle fiber formation that prevents the even distribution of chromosomes to the poles during mitosis. Sticky chromosome is related to the dissolution of DNA-associated proteins or disruptions in nucleic acid metabolism. Bonciu et al. [20] reported that such chromosome abnormalities are generally observed in response to environmental pollutants such as pesticides.

Table 2. Genotoxicity Induced by Flumetsulam

Abnormalities	Group I	Group II	Group III	Group IV
MI	884±15.6 ^a	745±13.9 ^b	674±11.2 ^c	598±9.76 ^d
%	(8.84)	(7.45)	(6.74)	(5.98)
MN	0.17±0.35 ^d	15.3±1.42 ^c	33.8±2.15 ^b	65.2±4.21 ^a
VC	0.10±0.32 ^d	13.8±1.33 ^c	30.2±1.96 ^b	59.1±4.11 ^a
SC	0.30±0.48 ^d	11.0±1.24 ^c	25.0±1.83 ^b	51.3±3.88 ^a
UDC	0.10±0.32 ^d	9.50±1.08 ^c	21.4±1.71 ^b	40.5±3.69 ^a
FRG	0.00±0.00 ^d	8.00±0.93 ^c	17.5±1.53 ^b	30.9±1.98 ^a
B	0.00±0.00 ^d	7.20±0.89 ^c	15.0±1.44 ^b	26.2±1.85 ^a
VN	0.00±0.00 ^d	6.10±0.85 ^c	13.8±1.32 ^b	22.1±1.73 ^a
NB	0.00±0.00 ^d	4.80±0.76 ^c	10.4±1.10 ^b	17.4±1.50 ^a

Group I: Control, Group II: 10 mg/L FLU, Group III: 20 mg/L FLU, Group IV: 40 mg/L FLU. Values are shown as mean ± SD (n=10). 1.000 cells in each group were analyzed for MN and CAs, and 10.000 cells in each group were analyzed for MI. Means indicated with different letters^(a-d) within the same row are significant at p<0.05. MI: mitotic index, MN: micronucleus, VC: vagrant chromosome, SC: sticky chromosome, UDC: unequal distribution of chromatin, FRG: fragment, B: bridge, VN: vacuolated nucleus, NB: nuclear bud.

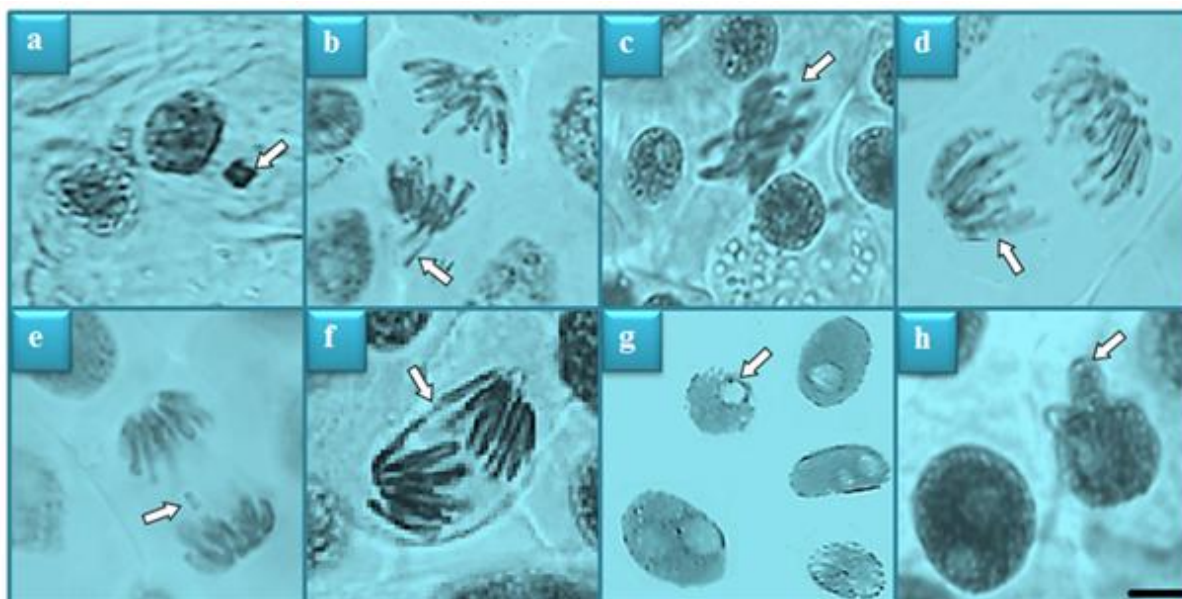


Figure 1. Chromosomal Damage Induced by Flumetsulam. MN (a), Vagrant Chromosome (b), Sticky Chromosome (c), Unequal Distribution of Chromatin (d), Fragment (e), Bridge (f), Vacuolated Nucleus (g), Nuclear Bud (h). Bar = 10 μ m.

8. CONCLUSION

This study investigated the genotoxic effects of FLU on *A. cepa*, a non-target organism. FLU application resulted in an increase in MN and CAs numbers and a decrease in MI in *A. cepa* root cells. These results indicate that FLU can disrupt cellular division processes and negatively affect genomic stability. Therefore, determining doses that will not cause toxicity to non-target organisms while aiming to control harmful plant species with herbicide application is of critical importance.

In addition, some preventive measures need to be implemented to reduce herbicide toxicity. Foremost among these is promoting integrated sustainable agriculture practices that include chemical, mechanical, and biological methods aimed at reducing herbicide dependence. Furthermore, environmental risk assessments must be carried out before herbicide applications, considering factors such as soil characteristics, biodiversity, and the potential for surface water pollution.

Furthermore, developing and prioritizing selective herbicide formulations with low persistence and high biodegradability can also help reduce environmental pesticide pollution. On the other hand, educating farmers about the safe use of herbicides, application methods, and potential environmental impacts is also crucial. Finally, for all of this to be implemented, legal regulations regarding pesticide use need to be enacted or strengthened by the relevant authorities.

REFERENCES

- [27] Leoci, R., Ruberti, M. Pesticides: An Overview of the Current Health Problems of Their Use, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 9, 1-20, 2021.
- [28] Zhou, W., Li, M., Achal, W., A Comprehensive Review on Environmental and Human Health Impacts of Chemical Pesticide Usage, *Emerging Contaminants*, 11, 100410, 2025.
- [29] Bondareva, L., Fedorova, N. Pesticides: Behavior in Agricultural Soil and Plants, *Molecules*, 26, 5370, 2021.
- [30] Ghazi, R.M., Yusoff, N.R.N., Abdul Halim, N.S., Abdul Wahab, I.R., Latif, N.A., Hasmoni, S.H., Zaini, M.A., Zakaria, Z.A. Health Effects of Herbicides and Its Current Removal Strategies, *Bioengineered*, 14(1), 2259526, 2023.
- [31] Liao, H., Li, X., Yang, Q., Bai, Y., Cui, P., Wen, C., Liu, C., Chen, Z., Tang, J., Che, J., Yu, Z., Geisen, S., Zhou, S., Friman, V.F., Zhu, Y.G. Herbicide Selection Promotes Antibiotic Resistance in Soil Microbiomes, *Molecular Biology and Evolution*, 38(6), 2337-2350, 2021.
- [32] Hongoeb, J., Tantimongcolwat, T., Ayimbila, F., Ruankham, W., Phopin, K. Herbicide-Related Health Risks: Key Mechanisms and a Guide to Mitigation Strategies, *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 20, 6, 2025.
- [33] <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/Reports/334.htm>. (Erişim tarihi: 04.12.2025)
- [34] Wolt, J.D., Schwake, J.D., Batzer, F.R., Brown, S.M. Anaerobic Aquatic Degradation of Flumetsulam [N-(2,6-Difluorophenyl)-5-methyl[1,2,4]triazolo[1,5-a]pyrimidine-2-sulfonamide], *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40(11), 2302-2308, 1992.
- [35] Fischer, G. Recent advances in 1,2,4-triazolo[1,5-a]pyrimidine chemistry, *Advances in Heterocyclic Chemistry*, 128, 1-101, 2019.
- [36] Subramanian, M.V., Loney-Gallant, V., Dias, J.M., Mireles, L.C. Acetolactate Synthase Inhibiting Herbicides Bind to the Regulatory Site, *Plant Physiology*, 93, 310-313, 1991.
- [37] Marileo, L., Jorquera, M., Hernandez, M., Briceno, G. Changes in Bacterial Communities by Post-Emergent Herbicides in an Andisol Fertilized with Urea as Revealed by DGGE, *Applied Soil Ecology*, 101, 141-151, 2016.
- [38] Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Spectral Shift Supported Epichlorohydrin Toxicity and the Protective Role of Sage, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 1374-1385, 2023.
- [39] Yalçın E., Çavuşoğlu K. Toxicity Assessment of Potassium Bromate and the Remedial Role of Grape Seed Extract, *Scientific Reports*, 12, 20529, 2022.
- [40] Fenech M., Chang W.P., Kirsch-Volders M., Holland N., Bonassi S., Zeiger E. UMN Project: Detailed Description of the Scoring Criteria for the Cytokinesis-Block Micronucleus Assay Using Isolated Human Lymphocyte Cultures, *Mutation Research*, 534(1), 65-75, 2003.
- [41] Promkaew, N., Soontornchainaksaeng, P., Jampatong, S., Rojanavipart, P. Toxicity and Genotoxicity of Pendimethalin in Maize and Onion, *Agriculture and Natural Resources*, 44(6), 1010-1015, 2010.

- [42] Özkan, S., Liman, R. Cytotoxicity and Genotoxicity in *Allium cepa* L. Root Meristem Cells Exposed to the Herbicide Penoxsulam, Celal Bayar University Journal of Science, 15(2), 221-226, 2019.
- [43] Chen, J., Yu, Q., Patterson, E., Sayer, C., Powles, S. Dinitroaniline Herbicide Resistance and Mechanisms in Weeds, Frontiers in Plant Science, 12, 634018, 2021.
- [44] Bonfanti, M., Taverna, P., Chiappetta, L., Villa, P., D'Incalci, M., Bagnati, R. DNA Damage Induced by Alachlor after In Vitro Activation by Rat Hepatocytes, Toxicology, 72(2), 207-219, 1992.
- [45] Eceiza, M.V., Barco-Antonanzas, M., Gil-Montreal, M., Huybrechts, M., Zabalza, A., Cuypers, A., Royuela, M. Role of Oxidative Stress in the Physiology of Sensitive and Resistant *Amaranthus palmeri* Populations Treated with Herbicides Inhibiting Acetolactate Synthase, Frontiers in Plant Science, 13, 1040456, 2023.
- [46] Bonciu, E., Firbas, P., Fontanetti, CS., Wusheng, J., Karaismailoğlu, MC., Liu, D., Menicucci, F., Pesnya, DS., Popescu, A., Romanovsky, A., Schiff, S., Ślusarczyk, J., de Souza, CP., Srivastava, A., Sutan, A., Papini, A. An Evaluation for the Standardization of the *Allium cepa* Test as Cytotoxicity and Genotoxicity Assay, Caryologia, 71(3), 191-209, 2018.

EVALUATION OF THE BIOCHEMICAL TOXICITY POTENTIAL OF TRIFORINE FUNGICIDE IN THE *ALLIUM CEPA* BIOASSAY

MSc. Onur SARSAR

Giresun University, onur.sarsar@gmail.com-0009-0006-3477-8912

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

This study evaluated the biochemical toxicity induced by Triforine, a fungicide used against fungal pathogens, in *Allium cepa* L. The evaluation involved investigating root malondialdehyde (MDA) levels, root superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) enzyme activities, and leaf chlorophyll a and b levels. Onions were divided into a control group and three Triforine groups. The control group was germinated in tap water, while the treatment groups were germinated in Triforine solutions of 7.5, 15, and 30 mg/L. Following germination, root and leaf samples were collected and prepared for spectrophotometric measurements. The control group showed the lowest MDA levels, SOD and CAT activities, and the highest chlorophyll a and b content. Triforine exposure led to dose-dependent significant ($p<0.05$) increases in MDA levels, SOD, and CAT activities. Chlorophyll a and b concentrations decreased significantly ($p<0.05$) with increasing Triforine doses. These biochemical changes were most pronounced at a Triforine dose of 30 mg/L. The results show that Triforine causes significant biochemical changes in the non-target species *A. cepa*. Therefore, the main goal in fungicide applications should be to effectively eliminate the target organisms but protect non-target organisms from toxicity.

Key Words: *Allium cepa*, antioxidant parameters, lipid peroxidation, Triforine.

1. INTRODUCTION

The increasing human population, along with the expansion of livestock production, has significantly increased the need for food and feed. To meet these increasing demands, it is necessary to further increase the productivity of agricultural production. Protecting agricultural crops against harmful organisms is vital for increasing productivity [1]. Therefore, pesticides protect fruits, vegetables and other crops from harmful organisms, minimizing crop losses and contributing to increased yields [2].

Fungicides are chemicals that increase crop yield by protecting agricultural products from fungal diseases [3]. In agricultural applications, fungicides are mostly sprayed onto plant leaves. However, more than 60% of the applied fungicides eventually reach the soil. Fungicide residues in the soil disrupt the microbial balance and cause these compounds to be taken up by plants and enter the food chain, posing risks to the ecosystem and human health [4]. In animal organisms, exposure to fungicides can cause liver and kidney dysfunction and damage to the endocrine system [5,6]. In plants, fungicide exposure can lead to decreased photosynthesis, chlorosis, delayed flowering, and inhibited growth [7]. In humans, fungicides can cause endocrine-disrupting and neurotoxic effects [8,9]. They can also promote apoptosis, necrosis, lipid peroxidation, and oxidative stress [10].

Triforine [N,N'-bis(1-formamido-2,2,2-trichloroethyl)-piperazine] is a systemic fungicide widely used in powdery mildew, rust, and various leaf-borne fungal diseases. Some studies have shown that this fungicide is effective in preventing powdery mildew disease in crops such as cucumbers and roses. The mechanism of action of Triforine is to interfere with sterol biosynthesis by inhibiting the C14 α -demethylation reaction dependent on the cytochrome P450 enzyme. As a result, the biochemical step is blocked, the structure of the fungal cell membrane is disrupted, and fungal growth is successfully controlled [11].

Triforine has the potential to be toxic to organisms other than its target organisms. Therefore, its toxic effects need to be evaluated in detail. In this study, the biochemical toxicity induced by Triforine in *Allium cepa* L., a non-target test organism, was investigated.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

The experimental procedures carried out are summarized in Figure 1.

Test material	<i>Allium cepa</i> L.
Chromosome number	2n=16
Test chemical	Triforine Merck CAS Number: 26644-46-2
Groups	Group I: Control Group II: 7.5 mg/L Triforine Group III: 15 mg/L Triforine Group IV: 30 mg/L Triforine
Germination	<i>Allium cepa</i> bulbs were placed in sterile glass beakers. The bulbs in the control group were germinated in tap water, while those in the treatment groups were germinated in Triforine solutions at concentrations of 7.5, 15, and 30 mg/L at room temperature. The bulbs were allowed to grow for 72 h for root elongation and 144 h for leaf formation. At the end of the specified exposure periods, root and leaf samples were collected and prepared for biochemical analyses.
Biochemical analyses	Malondialdehyde (MDA) levels were determined using the method proposed by Unyayar et al. [12]. Free proline content was measured according to the procedure described by Bates et al. [13]. Chlorophyll extraction and quantification were carried out following the method outlined by Kaydan et al. [14]. Superoxide dismutase (SOD) activity was assessed using the procedure developed by Beauchamp and Fridovich [15], while catalase (CAT) activity was determined according to the method of Beers and Sizer [16].

Figure 1. Experimental Process

3. RESULTS AND DISCUSSION

The biochemical changes observed in *A. cepa* root cells following exposure to Triforine are shown in Table 1. In the control group, SOD and CAT enzyme activities and MDA levels were at their lowest, while chlorophyll a and b levels reached their highest. After Triforine exposure, dose-dependent significant ($p<0.05$) decreases were observed in chlorophyll a and b levels, while significant ($p<0.05$) increases were observed in MDA levels and SOD and CAT activities. The strongest changes were recorded in the 30 mg/L Triforine group (Group IV). In this group, compared to the control, MDA levels increased approximately 2.74 times, SOD activity approximately 2.03 times, and CAT activity approximately 2.29 times. Chlorophyll a and b levels decreased approximately 2.31 times and 2.83 times, respectively.

There is no comprehensive study in the literature yet investigating the biochemical toxicity induced by Triforine. However, there are studies investigating the biochemical toxicity caused by other fungicides in different plant species. Our results were observed to be consistent with the findings obtained in existing studies. Liu et al. [17] reported that diphenconazole fungicide at concentrations of 50, 100 and 200 mg/L reduced chlorophyll content in *Triticum aestivum* (wheat) tissues and increased SOD, CAT, G-POD (guaiacol peroxidase) and APX (ascorbate peroxidase) enzyme activities and MDA levels. Güç et al. [18] showed that ridomyl fungicide at concentrations of 125, 250 and 500 mg/L caused an increase in SOD and CAT enzyme activities and MDA levels in *A. cepa*. Uslu et al. [19] found that exposure of *A. cepa* to 150 mg/L mancozeb fungicide led to an increase in SOD and CAT activities and proline and MDA levels, and a decrease in chlorophyll a and chlorophyll b content.

It is thought that the biochemical changes caused by Triforine occur as a result of different mechanisms. Triforine exposure can lead to damage in the cell membrane, thus increasing lipid peroxidation and causing an increase in MDA levels. Various information in the literature supports this view. Srivastava and Singh [20] reported that pesticides cause excessive ROS production, which increases membrane lipid peroxidation and consequently raises MDA levels. The increases in SOD and CAT enzyme activities observed in root cells after Triforine exposure may be related to the increased synthesis of antioxidant enzymes by cells as a defense response to increased ROS production in the roots. For example, Kesti et al. [21] reported that pesticide applications increased ROS levels and caused an increase in SOD and CAT activities in cells to repair and prevent the resulting oxidative stress. The decrease in leaf chlorophyll a and b levels may be related to leaf tissue damage caused by Triforine, inhibition of chlorophyll-synthesizing enzymes, increased ROS production, and changes in ion homeostasis. Shahid et al. [22] reported that pesticides reduce chlorophyll content by inhibiting metabolic enzymes involved in chlorophyll biosynthesis. Sobiecka et al. [23] determined that pesticide-induced oxidative stress increases free radical levels, leading to peroxidation of chloroplast membranes and inhibiting chlorophyll synthesis enzymes, thus reducing chlorophyll levels. Lei et al. [24] found that pesticide exposure reduces the uptake of Na, Ca, and K ions, which is associated with a decrease in photosynthetic pigment content.

Table 1. Biochemical Responses of *Allium cepa* to Triforine Exposure

Groups	MDA ($\mu\text{M/g FW}$)	SOD (U/mg FW)	CAT ($\text{OD}_{240 \text{ nm min/g FW}}$)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)
Group I	5.48 $\pm$ 0.74 ^d	72.9 $\pm$ 1.93 ^d	0.85 $\pm$ 0.12 ^d	18.5 $\pm$ 1.18 ^a	9.00 $\pm$ 0.94 ^a
Group II	7.50 $\pm$ 0.88 ^c	88.6 $\pm$ 2.15 ^c	1.16 $\pm$ 0.26 ^c	15.0 $\pm$ 1.08 ^b	7.24 $\pm$ 0.88 ^b
Group III	10.5 $\pm$ 0.96 ^b	100 $\pm$ 2.44 ^b	1.50 $\pm$ 0.34 ^b	11.4 $\pm$ 0.98 ^c	5.32 $\pm$ 0.73 ^c
Group IV	15.0 $\pm$ 1.24 ^a	148 $\pm$ 2.75 ^a	1.95 $\pm$ 0.46 ^a	8.00 $\pm$ 0.89 ^d	3.18 $\pm$ 0.59 ^d

Group I: Control, Group II: 7.5 mg/L Triforine, Group III: 15 mg/L Triforine, Group IV: 30 mg/L Triforine. Data are shown as mean $\pm$ SD. Means indicated with different letters^(a-d) within the same column are significant at $p < 0.05$. MDA: malondialdehyde, SOD: superoxide dismutase, CAT: catalase.

4. CONCLUSION

Triforine exposure caused significant biochemical toxicity in the non-target plant species *A. cepa*. The findings indicate that Triforine activates oxidative stress pathways in plant tissues. The increase in MDA levels, the end product of increased lipid peroxidation, indicates impaired membrane stability. The increase in SOD and CAT antioxidant enzyme activities suggests that the plant initiated a protective response to mitigate oxidative damage. Furthermore, the decrease in chlorophyll levels shows that Triforine exposure negatively affects photosynthetic capacity. All these results demonstrate that Triforine can cause biochemical changes not only against target fungal species but also in non-target plant tissues. Therefore, in fungicide applications, doses that provide high efficacy against target organisms but have no or minimal toxic effects on non-target organisms should be determined. In addition, avoiding uncontrolled and excessive pesticide use in agricultural areas, continuously monitoring pesticide use, educating farmers on environmental impacts, and developing alternative and more environmentally friendly disease management strategies are of great importance.

REFERENCES

- [1] Oerke, E.C., Dehne, H.W. Safeguarding Production—Losses in Major Crops and the Role of Crop Protection, *Crop protection*, 23(4), 275-285, 2004.
- [2] Mbatchou, V.C., Yunusah, O.D., Iddrisu, U.F. Effects of Pesticide Residues on the Growth and Yield of Vegetables at Navrongo of Ghana, *CABI Agriculture and Bioscience*, 5(1), 51, 2024.
- [3] Kara, M., Jannuzzi, A.T., Yön, S. In-vitro Investigation of the Cytotoxic and Genotoxic Effects of Benzimidazole Group Pesticides Benomyl and Carbendazim, *Journal of Toxicology Current Research*, 3(007), 2019.
- [4] Han, L., Kong, X., Xu, M., Nie, J. Repeated Exposure to Fungicide Tebuconazole Alters the Degradation Characteristics, Soil Microbial Community and Functional Profiles, *Environmental Pollution*, 287, 117660, 2021.
- [5] Ziada, R.M., Abdulrhman, S.M., Nahas, A.A. Hepato-nephro-toxicity Induced by Premium Fungicide and Protective Effect of Sesame Oil, *The Egyptian Journal of Hospital Medicine*, 81(7), 2445-2450, 2020.
- [6] Taxvig, C., Vinggaard, A.M., Hass, U., Axelstad, M., Metzdorff, S., Nellemann, C. Endocrine-Disrupting Properties In Vivo of Widely Used Azole Fungicides, *International Journal of Andrology*, 31(2), 170-177, 2008.
- [7] Van Iersel, M.W., Bugbee, B. Phytotoxic Effects of Benzimidazole Fungicides on Bedding Plants, *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(6), 1095-1102, 1996.
- [8] Morinaga, H., Yanase, T., Nomura, M., Okabe, T., Goto, K., Harada, N., Nawata, H. A Benzimidazole Fungicide, Benomyl, and its Metabolite, Carbendazim, Induce Aromatase Activity in a Human Ovarian Granulosa-Like Tumor Cell Line (KGN). *Endocrinology*, 145(4), 1860-1869, 2004.

- [9] Bilgehan, A., Özhan, G. In Vitro Toxic Effects of Azoxystrobin on Human Neuroblastoma Cell Line, *Journal of Advanced Research in Health Sciences*, 7(3), 214-219, 2024.
- [10] Canal-Raffin, M., Azou, B., Jorly, J., Hurtier, A., Cambar, J., Brochard, P. Folpet Fungisitinin İnsan Bronşiyal Epitel Hücreleri Üzerindeki Sitotoksitesisi, *Toksikoloji*, 249(2-3), 160-166, 2008.
- [11] Li, Y.M., Li, Z.H., Huang, R.L., Wang, S.Y., Zhang, Z.X. Residue and Distribution of Triforine in Different Cultivars and Fruit Periods of Watermelon Under Field Conditions, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156, 428-433, 2018.
- [12] Unyayar S., Celik A., Cekic F.O., Gozel A. Cadmium-Induced Genotoxicity, Cytotoxicity and Lipid Peroxidation in *Allium sativum* and *Vicia faba*, *Mutagenesis*, 21, 77-81, 2006.
- [13] Bates L.S., Waldren R.P., Teare I. D. Rapid Determination of Free Proline for Water Stress Studies, *Plant Soil*, 39, 205-207, 1973.
- [14] Kaydan D., Yagmur M., Okut N. Effects of Salicylic Acid on The Growth and Some Physiological Characters in Salt Stressed Wheat (*Triticum aestivum* L.), *Journal of Agricultural Sciences*, 13(2), 114-119, 2007.
- [15] Beauchamp C., Fridovich I. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels, *Analytical Biochemistry*, 44(1), 276-287, 1971.
- [16] Beers R.F., Sizer I.W. Colorimetric Method for Estimation of Catalase, *Journal of Biological Chemistry*, 195, 133-139, 1952.
- [17] Liu, R., Li, J., Zhang, L., Feng, T., Zhang, Z., Zhang, B. Fungicide Difenconazole Induced Biochemical and Developmental Toxicity in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 10(11), 2304, 2021.
- [18] Guç, İ., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Toxicity Induced by Ridomil in *Allium cepa*: Physiological, Cytogenetic, Biochemical and Anatomical Approach, *Journal of Gaziosmanpasa Scientific Research*, 8(2), 85-97, 2019.
- [19] Uslu, K., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Quantitative Phenolic Profiling and Protective Effects of Grape Seed Extract on Mancozeb-Induced Cellular and Genetic Toxicity, *Scientific Reports*, 15(1), 36249, 2025.
- [20] Srivastava, A.K., Singh, D. Assessment of Malathion Toxicity on Cytophysiological Activity, DNA Damage and Antioxidant Enzymes in Root of *Allium cepa* Model, *Scientific reports*, 10(1), 886, 2020.
- [21] Kesti, S., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Investigation of the Protective Role of *Ginkgo biloba* L. Against Phytotoxicity, Genotoxicity and Oxidative Damage Induced by Trifloxystrobin, *Scientific Reports*, 14(1), 19937, 2024.
- [22] Shahid, M., Ahmed, B., Zaidi, A., Khan, M.S. Toxicity of Fungicides to *Pisum sativum*: a Study of Oxidative Damage, Growth Suppression, Cellular Death and Morpho-Anatomical Changes, *RSC Advances*, 8(67), 38483-38498, 2018.
- [23] Sobiecka, E., Mroczkowska, M., Olejnik, T.P. The Influence of Chlorpyrifos on the Nonenzymatic Antioxidants Content in Macrophytes Leaves, *Antioxidants*, 11(4), 684, 2022.

- [24] Lei, M., Raza, I., Deeba, F., Jamil, M., Naeem, R., Azizullah, A., Khan, M.D.
Pesticide-Induced Physiological, Metabolic and Ultramorphological Alterations in
Leaves of Young Maize Seedlings, Polish Journal of Environmental Studies, 29(3),
2247-2258, 2020.

EVALUATION OF THE BIOCHEMICAL TOXICITY POTENTIAL OF TRIFORINE FUNGICIDE IN THE *ALLIUM CEPA* BIOASSAY

MSc. Onur SARSAR

Giresun University, onur.sarsar@gmail.com-0009-0006-3477-8912

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

This study investigated the genotoxic potential of the fungicide Quintozene, used to control fungal diseases, in root tip meristem cells of the model organism *Allium cepa* L. Micronucleus (MN) frequency, mitotic index (MI), and chromosomal abnormalities (CAs) were used as biological indicators of genotoxicity. *A. cepa* bulbs were divided into a control group and three treatment groups. Control bulbs were germinated in tap water, while treatment groups were germinated in Quintozene solutions at doses of 25, 50, and 100 mg/L. Following germination, root tips were collected and prepared for cytogenetic analysis using a crushing technique. The results showed that the control group had the highest MI values and the lowest MN frequency and CAs numbers. Quintozene exposure caused a significant decrease ($p<0.05$) in MI and a significant increase ($p<0.05$) in MN frequency and CAs numbers. These effects were found to be directly related to the applied doses. Quintozene caused various mitotic abnormalities, including sticky chromosome, fragmentation, vagrant chromosome, unequal chromatin distribution, vacuolated nucleus, nuclear budding, and multipolar anaphase. The most frequently observed abnormality was sticky chromosome. These findings suggest that Quintozene can cause significant genotoxic effects in non-target organisms such as *A. cepa*. Therefore, in fungicide applications, environmental safety should be a top priority while ensuring effective control of target organisms, and doses that minimize harmful effects on non-target species should be determined.

Key Words: *Allium cepa*, fungicide, genotoxicity, quintozene.

1. INTRODUCTION

The rapid increase in global growth and the resulting need for food necessitate a further increase in sustainable agricultural practices. According to the United Nations, the world population is expected to reach approximately 10 billion by 2050, and global food demand is expected to increase by 70%. This situation leads to insufficient methods and production capacity to meet the increasing food costs. Therefore, one of the most effective solutions for increasing crop yields is considered to be the controlled use of pesticides [1]. Pesticides protect plants against various pests, reducing crop losses. For this reason, they play a critical role in meeting the food needs of the rapidly increasing world population [2].

Fungicides are chemicals used to reduce agricultural losses caused by fungal pathogens, protect plants, and increase yield [3]. However, the indiscriminate action of fungicides, their persistence and bioaccumulation when exposed to extreme temperatures, pose a potential risk to non-target organisms. Exposure to these chemicals can cause various characteristic and biochemical deteriorations in organisms [4,5]. Some studies on animal organisms have shown that fungicides can cause increased activity and necrotic changes in liver, kidney, and spleen tissues [6]. Similarly, in plants, they can significantly reduce germination rate, root and shoot lengths, and carotenoid and chlorophyll content [7]. In addition, it is known that exposure to fungicides leads to various health problems by exhibiting mitochondrial dysfunction, oxidative stress, and endocrine disrupting effects [8,9].

Quintozene is an organochlorine fungicide frequently used in seed treatment and soil applications [10]. It is used to prevent various fungal diseases in agricultural products such as eggplant, watermelon, cotton, sorghum and wheat [11]. Quintozene is also applied to control surface fungi such as snow mold disease in golf courses [12]. The mechanism of action of Quintozene is to suppress gene expression, thereby inhibiting mitotic division [13-15].

Since quintozene has the potential to have adverse effects on non-target organisms, a comprehensive investigation of the associated risks is necessary. This study evaluated the genotoxic effects of quintozene, a broad-spectrum fungicide, on *A. cepa*, a non-target model species.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

Test material	<i>Allium cepa</i> L.
Chromosome number	2n=16
Test chemical	Quintozene Merck CAS Number: 82-68-8
Groups	Group I: Control Group II: 25 mg/L Quintozen, Group III: 50 mg/L Quintozen, Group IV: 100 mg/L Quintozen.
Germination	In the experiment, <i>A. cepa</i> bulbs were placed in sterile glass beakers. Germination was conducted at room temperature for 72 h, with bulbs in the control group exposed to tap water, while those in the treatment groups were treated with Quintozen solutions at concentrations of 25, 50, and 100 mg/L. At the end of the exposure period, root tips were collected and prepared for genotoxic analysis using the squash preparation technique.
Chromosomal aberration and Micronucleus test	For genotoxic analysis, root tips were prepared using the acetocarmine squash technique. Approximately 1 cm-long root tips were fixed in Clarke's fixative for 2 h. Subsequently, the samples were rinsed in 96% ethanol for 15 min and hydrolyzed in 1 N HCl at 60 °C for 17 min. After hydrolysis, the root tips were immersed in 45% glacial acetic acid for 30 min. Following 24 h of staining with acetocarmine, the root tips were squashed onto microscope slides and examined under an Imeco IM-450 TI research microscope equipped with a camera, with photomicrographs taken at × 400 magnifications [16].
MN detection	MN analysis was performed according to the criteria described by Fenech et al. [17].
MI calculation	MI (%) = [number of cells undergoing mitosis] / [total number of cells] x100

3. RESULTS AND DISCUSSION

The genotoxicity of quintozone in *A. cepa* root meristem cells is shown in Figure 1 and Table 1. In the control group, MN frequency and CAs numbers were observed at minimal levels, while MI values were observed at the highest levels. Dose-dependent significant increases ($p<0.05$) in MN frequency and CAs numbers and a significant decrease ($p<0.05$) in MI were detected with quintozone exposure. These effects were more pronounced in Group IV, which received the highest dose of quintozone (100 mg/L). In Group IV, MI decreased by approximately 27.5% compared to the control, while MN frequency and CAs numbers increased significantly. Mitotic abnormalities observed in root meristem cells included sticky chromosome, fragment, vagrant chromosome, unequal chromatin distribution, vacuolated nucleus, nuclear bud, and multipolar anaphase.

There are no detailed studies in the literature regarding the genotoxic effects of Quintozene on plants. Therefore, the results of the study were compared with the findings of studies investigating the genotoxic effects of other fungicides on plants. Çıldır and Liman [18] observed a decrease in MI values and many mitotic abnormalities such as chromosome retardation, anaphase bridges, and c-metaphase in *A. cepa* root meristem cells exposed to imazalil fungicide at concentrations of 0.5, 1, and 2 µg/mL for 24, 48, 72, and 96 hours. Sutan et al. [19] showed that exposing *A. cepa* roots to aqueous solutions of Ridomil Gold Plus fungicide containing 100, 500, and 1500 ppm active substance for 3 and 6 h caused a decrease in MI values and the appearance of abnormalities such as vacuolated nucleus, sticky chromosome, and multipolar anaphase. Macar et al. [20] reported that exposing *A. cepa* bulbs to Trifloxystrobin fungicide at doses of 0.2, 0.4 and 0.8 g/L caused a decrease in MI values and the appearance of CAs such as fragment, sticky chromosome, vacuolated nucleus and vagrant chromosome.

The observed decrease in MI value after quintozene exposure may be due to the interaction of this fungicide with tubulin proteins responsible for spindle fiber formation in mitotic division. This could disrupt microtubule organization, leading to decreased mitotic activity. Guo et al. [21] reported that pesticides can bind to tubulin proteins, causing microtubule damage and inhibiting cell division by suppressing auxin-sensitive gene expression.

The increase in MN and CAs observed after quintozene exposure is associated with the fungicide causing DNA damage either directly through interaction with DNA or indirectly through free radical production. Some studies in the literature support this hypothesis. Sarkar and Singh [22] reported that pesticides can directly interact with DNA, causing damage to the DNA helix structure or base sequence. Domico et al. [23] and Cadet and Wagner [24] stated that pesticides can increase ROS production and that this increase can cause DNA damage.

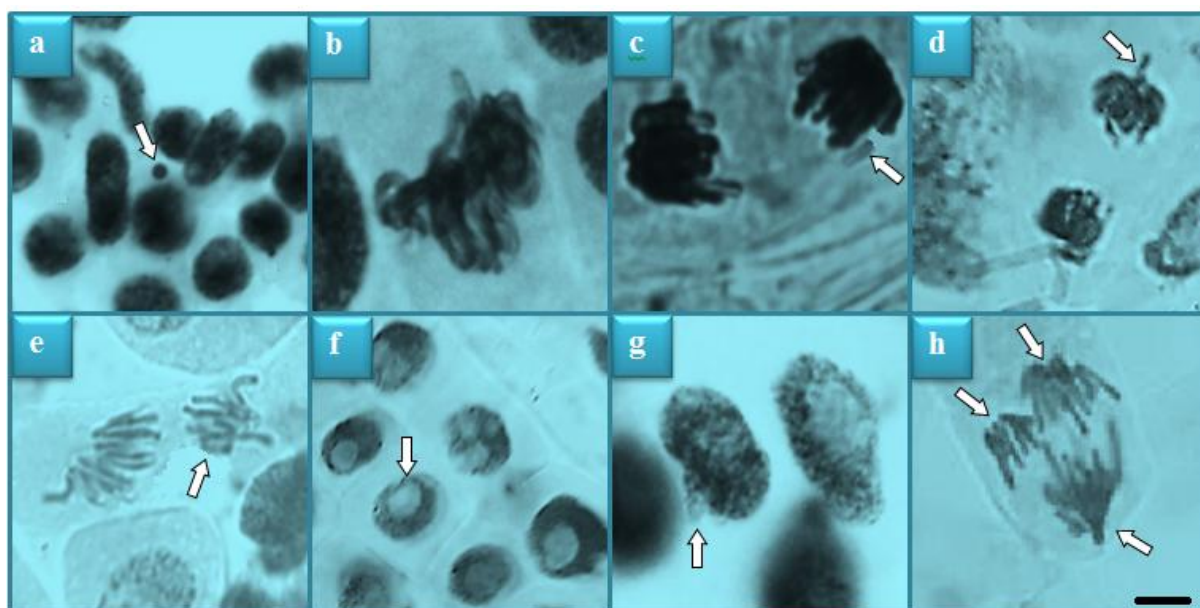


Figure 1. Chromosomal Abnormalities Induced by Quintozene. MN (a), Sticky Chromosome (b), Fragment (c), Vagrant Chromosome (d), Unequal Distribution of Chromatin (e), Vacuolated Nucleus (f), Nuclear Bud (g), Multipolar Anaphase (h). Bar = 10 µm.

Table 1. Genotoxicity Induced by Quintozene

Abnormalities	Group I	Group II	Group III	Group IV
MI	910±17.5 ^a	828±15.8 ^b	748±13.2 ^c	660±12.4 ^d
%	(9.10)	(8.28)	(7.48)	(6.60)
MN	0.17±0.35 ^d	18.5±1.96 ^c	35.0±2.48 ^b	74.6±4.85 ^a
SC	0.20±0.42 ^d	15.0±1.82 ^c	31.5±2.18 ^b	65.0±4.69 ^a
FRG	0.00±0.00 ^d	12.0±1.58 ^c	25.2±1.93 ^b	53.8±4.25 ^a
VC	0.10±0.32 ^d	10.0±1.36 ^c	22.0±1.77 ^b	46.2±3.95 ^a
UDC	0.16±0.38 ^d	8.50±1.15 ^c	18.0±1.53 ^b	38.0±3.24 ^a
VN	0.00±0.00 ^d	7.40±1.02 ^c	15.0±1.38 ^b	31.9±2.98 ^a
NB	0.00±0.00 ^d	6.00±0.96 ^c	13.4±1.12 ^b	25.8±1.95 ^a
MA	0.00±0.00 ^d	4.20±0.82 ^c	10.0±1.05 ^b	21.4±1.77 ^a

Group I: Control, Group II: 25 mg/L Quintozene, Group III: 50 mg/L Quintozene, Group IV: 100 mg/L Quintozene. Values are shown as mean ± SD (n=10). 1.000 cells were analyzed in each group for MN and CAs, and 10.000 cells were analyzed in each group for MI. Means indicated with different letters^(a-d) within the same line are significant at p<0.05. MI: mitotic index, MN: micronucleus, SC: sticky chromosome, FRG: fragment, VC: vagrant chromosome, UDC: unequal distribution of chromatin, VN: vacuolated nucleus, NB: nuclear bud, MA: multipolar anaphase.

4. CONCLUSION

The study results showed that exposure to Quintozene can cause genotoxic effects in *A. cepa*, a non-target plant. This fungicide led to a decrease in MI values and an increase in MN and CAs numbers in root cells. This result once again emphasizes the importance of selecting doses

that achieve maximum efficacy against target organisms while minimizing toxic effects on non-target species in fungicide applications. On the other hand, it is essential to use only the recommended concentrations to reduce fungicide toxicity. In addition, contact of chemicals with the environment and water sources should be avoided during application, necessary precautions should be taken, and farmers should be regularly trained and informed. In addition, utilizing alternative biological control methods can be an effective approach to reduce environmental and genotoxic risks.

REFERENCES

- [1] Leite, Y.L., Duque, T.S., Santos, J.B.D., Santos, E.A.D. Potential Residual Pesticide Consumption: A Stratified Analysis of Brazilian Families, *Journal of Xenobiotics*, 15(2), 37, 2025.
- [2] Borlongan, I.G., Chuan, J.N.P., Ruangpan, L., Tendencia, E. Detection of Pesticide Residues in Aquaculture Products. In *Laboratory Manual of Standardized Methods for the Analysis of Pesticide and Antibiotic Residue in Aquaculture Products*, Aquaculture Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, 23-46, 2004.
- [3] Uppala, S., Zhou, X.G. Optimum Timing of Propiconazole to Manage Narrow Brown Leaf Spot in the Main and Ratoon Rice Crops in Texas, *Crop Protection*, 124, 104854, 2019.
- [4] Li, H., Yang, S., Li, T., Li, X., Huang, X., Gao, Y., Mu, W. Determination of Pyraclostrobin Dynamic Residual Distribution in Tilapia Tissues by UPLC-MS/MS Under Acute Toxicity Conditions, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 206, 111182, 2020.
- [5] Škulcová, L., Chandran, N.N., Bielská, L. Chiral Conazole Fungicides- (Enantioselective) Terrestrial Bioaccumulation and Aquatic Toxicity, *Science of The Total Environment*, 743, 140821, 2020.
- [6] Boran, H., Capkin, E., Altinok, I., Terzi, E. Assessment of Acute Toxicity and Histopathology of The Fungicide Captan in Rainbow Trout, *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(3), 175-179, 2012.
- [7] Emam, S.S., Abd-Eldaim, F.A. Effect of Difenconazole and Azoxystrobin on Wheat and Radish Seeds Germination and Tomato Seedling Growth, Egypt, *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 14(2), 139-148, 2022.
- [8] Zhang, Z., Du, G., Gao, B., Hu, K., Kaziem, A.E., Li, L., Wang, M. Stereoselective Endocrine-Disrupting Effects of the Chiral Triazole Fungicide Prothioconazole and Its Chiral Metabolite, *Environmental Pollution*, 251, 30-36, 2019.
- [9] Tao, H., Bao, Z., Jin, C., Miao, W., Fu, Z., Jin, Y. Toxic Effects and Mechanisms of Three Commonly Used Fungicides on the Human Colon Adenocarcinoma Cell Line Caco-2, *Environmental Pollution*, 263, 114660, 2020.
- [10] Li, Y. Y., Yang, H. Bioaccumulation and Degradation of Pentachloronitrobenzene in *Medicago sativa*, *Journal of Environmental Management*, 119, 143-150, 2013.

- [11] Neng, J., Liao, C., Wang, Y., Wang, Y., Yang, K. Rapid and Sensitive Detection of Pentachloronitrobenzene by Surface-Enhanced Raman Spectroscopy Combined with Molecularly Imprinted Polymers. *Biosensors*, 12(2), 52, 2022.
- [12] Metcalfe, T.L., Dillon, P. J., Metcalfe, C.D. Effects of formulations of the Fungicide, Pentachloronitrobenzene On Early Life Stage Development Of The Japanese Medaka (*Oryzias latipes*), *Chemosphere*, 71(10), 1957-1962, 2008.
- [13] Fan, G., Shen, T., Jia, K., Xiao, X., Wu, Z., Gong, F., Lu, H. Pentachloronitrobenzene Reduces the Proliferative Capacity of Zebrafish Embryonic Cardiomyocytes Via Oxidative Stress, *Toxics*, 10(6), 299, 2022.
- [14] Gao, S., Zong, L., Zhang, Y., Zhang, Y., Guo, X., Guo, G., Fu, Y. Antifungal Pentachloronitrobenzene/Hydroxypropyl-Beta-Cyclodextrin Inclusion Complex Nanofibers by Electrospun with No Polymer: Fabrication and Characterization, *Journal of Cleaner Production*, 413, 137499, 2023.
- [15] Cohen, E., Gamliel, A., Katan, J. Glutathione And Glutathione-S-Transferase in Fungi: Effect of Pentachloronitrobenzene and 1-Chloro-2, 4-Dinitrobenzene; Purification and Characterization of the Transferase from *Fusarium*. *Pesticide biochemistry and physiology*, 26(1), 1-9, 1986.
- [16] Himtaş, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., Acar, A. In-Vivo and In-Silico Studies to Identify Toxicity Mechanisms of Permethrin with the Toxicity-Reducing Role of Ginger, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16, 2024.
- [17] Fenech, M., Chang, W.P., Kirsch-Volders, M., Holland, N., Bonassi, S., Zeiger, E. HUMN Project: Detailed Description of the Scoring Criteria for The Cytokinesis-Block Micronucleus Assay Using Isolated Human Lymphocyte Cultures, *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 65-75, 2003.
- [18] Çıldır, D.S., Liman, R. Cytogenetic and Genotoxic Assessment in *Allium cepa* Exposed to Imazalil Fungicide, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(16), 20335-20343, 2020.
- [19] Sutan, N.A., Popescu, A., Mihaescu, C., Soare, L.C., Marinescu, M.V. Evaluation of Cytotoxic and Genotoxic Potential of the Fungicide Ridomil in *Allium cepa* L., *Analele Stiintifice ale Universitatii" Al. I. Cuza" din Iasi*, 60(1), 5, 2014.
- [20] Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Acute Multiple Toxic Effects of Trifloxystrobin Fungicide on *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 12(1), 15216, 2022.
- [21] Guo, Y., Li, J., Shi, J., Mi, L., Zhang, J., Han, S., Chen, S. Griseofulvin Inhibits Root Growth by Targeting Microtubule-Associated Proteins Rather Tubulins in *Arabidopsis*, *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8692, 2023.
- [22] Sarkar, S., Singh, P.C. Mechanistic Aspects of Fungicide-Induced DNA damage: Spectroscopic and Molecular Dynamics Simulation Studies, *The Journal of Physical Chemistry B*, 123(41), 8653-8661, 2019.
- [23] Domico, L.M., Cooper, K.R., Bernard, L.P., Zeevalk, G.D., Reactive Oxygen Species Generation by the Ethylene-Bis-Dithiocarbamate (EBDC) Fungicide Mancozeb and Its Contribution to Neuronal Toxicity in Mesencephalic Cells, *Neurotoxicology*, 28(6), 1079-1091, 2007.

- [24] Cadet, J., Wagner, J.R. DNA Base Damage by Reactive Oxygen Species, Oxidizing Agents, and UV Radiation, Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 5(2), a012559, 2013.

EVALUATION OF THE GENOTOXIC POTENTIAL OF THE FUNGICIDE VINCLOZOLIN USING THE *ALLIUM CEPA* TEST SYSTEM

Dr. İlknur GÜÇ

Giresun University, ilknur_guc@hotmail.com-0000-0002-9927-1200

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

Ensuring adequate food supply is crucial for social welfare, given the ever-increasing global population. Studies indicate that fungal pathogens pose the greatest biotic threat to productive agricultural crops. These emerging fungal diseases significantly impact the economies of many countries. Fungicides, also known as fungicides, are frequently used to control these pathogens. However, research has shown that fungicides have toxic effects on non-target organisms. Therefore, controlling fungicide use and expanding alternative methods will be crucial to minimize the impact on non-target organisms. Vinclozolin is a widely used fungicide in Europe. It has a wide range of applications, including on vegetables, fruits, ornamental plants, and the wine industry. Vinclozolin residues accumulate primarily in water bodies, affecting non-target organisms. This study investigated the genotoxic effects of vinclozolin on the non-target organism *Allium cepa*. For this purpose, four groups were formed, and vinclozolin was used at concentrations of 25-100 mg/L in each group. Mitotic phases were examined in each group to obtain genotoxic data. Consequently, vinclozolin exposure reduced cell proliferation in the root tip of *A. cepa*. When the experimental groups were examined, genotoxicity increased with increasing doses compared to the control group. Mitotic index (MI), micronucleus (MN), and chromosome aberrations (CAs) were examined as genotoxicity markers. The most common chromosome aberration was sticky chromosome with a mean value of $71.9 \pm 4.15a$ in Group IV. MN frequency was approximately 483-fold increased in Group IV compared to the control group. The MI was found to be the lowest in Group IV with a mean value of $640 \pm 11.3d$ compared to the control group. These changes detected in *A. cepa* root cells indicate the genotoxicity of the fungicide vinclozolin. Furthermore, this study demonstrated that *A. cepa* is an easy and reliable bioindicator for toxicity studies.

Key Words: *Allium cepa*, toxicity, vinclozolin, fungicide, genotoxicity.

1. INTRODUCTION

Biocidal compounds with hazardous effects are known as pesticides, and they have been a part of our life for many years. By preventing different metabolic pathways in non-target organisms, pesticides have harmful effects [1,2]. One significant and popular class of pesticides is fungicides. Chemicals called fungicides are used to fight off fungal diseases that harm crops. Compared to other pesticides, fungicides are used more frequently. This is due to the fact that fungicides are employed as protective pesticides in a variety of sectors, including wood, paint, and textiles. A popular fungicide, vinclozolin is frequently used to fruits, vegetables, decorative plants, and the wine industry. Numerous fungicides used in agricultural techniques can contaminate both processed and unprocessed foods by traveling through the air and water, according to research. Since this mostly depends on the frequency and amount of vinclozolin-contaminated food consumed, the degree to which vinclozolin directly affects humans or animals through food has not yet been established [3].

Vinclozolin ((RS)-3-(3,5-Dichlorophenyl)-5-methyl-5-vinylloxazolidine-2,4-dione), a common fungicide, is used for the treatment of diseases such as blight, rot, and mold in vineyards and on fruits and vegetables such as raspberries, kiwi, lettuce, and onions [4]. Vinclozolin is a dicarboximide fungicide responsible for controlling plant diseases caused by pathogenic fungi by inhibiting chitin synthesis in the cell wall [5]. Because fungicides persist on produce, they cannot be removed with tap water, making it difficult for consumers to minimize exposure [6]. One important route of vinclozolin exposure is through wine grapes, where approximately 2% of total vinclozolin residue intake is thought to be involved. Because it has been determined that humans can be exposed to vinclozolin residue and its metabolites, including the 3,5-dichloroaniline moiety (3,5-DCA), through dietary intake, tolerance values have been defined for each product. Although not approved for use, human exposure to vinclozolin and its residues is possible. For example, golfers playing on treated sports fields and individuals playing on previously treated turf fields may be at risk of exposure. Vinclozolin residue can be transmitted to individuals performing tasks such as loading and mixing during their work. Vinclozolin has been shown to be an endocrine-disrupting chemical with antiandrogenic effects, a key research finding [7,8].

In this study, the genotoxic effects of vinclozolin were investigated in the bioinducer organism *Allium cepa*. The genotoxic effect parameters were the MI, an indicator of cell proliferation, and the MN and CAs assays, which are genotoxicity markers.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Materials

Vinclozolin (CAS Number: 50471-44-8) was obtained from Merck, and the carmine was obtained from Isolab. *Allium cepa* bulbs used in the experiment were purchased from Akdeniz Tarım. Bulbs treated with distilled water served as controls [9]. The experimental design consisted of four groups: control (distilled water), Group II (25 mg/L vinclozolin), Group III (50 mg/L vinclozolin), and Group IV (100 mg/L vinclozolin). Before the study, bulbs were rooted at 20–22 °C for 24 h. Ten rooted bulbs were used in each group and germinated in individual glass tubes for 72 h, after which root tips were collected for cytogenetic analyses [10,11].

2.2. Cytotoxic and Genotoxic Effects of Vinclozolin

Samples, 1–2 cm long, taken from germinated root tips were incubated in Clarke's solution for 1 h. The samples were then transferred to ethanol solutions and then hydrolyzed in HCl. Following hydrolysis, staining was performed, and root tips were incubated in acetocarmine overnight and transferred to acetic acid solution [12]. Mitotic abnormalities were examined using a research microscope. 1.000 cells from each group were analyzed to detect CAs and MN levels [10]. The results were statistically analyzed using IBM SPSS Statistics software, version 22.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The highest mean value for the MI and the lowest mean value for both CAs and MN were observed in the control group (Figure 1 and Table 1). The data showed that vinclozolin caused a decrease in MI ($p < 0.05$) and an increase in the frequency of MN and the number of CAs ($p < 0.05$) compared to the control group. Exposure to 100 mg/L vinclozolin caused an approximately 2.7% decrease in the incidence of MI. However, there was an approximately 483-fold increase in the frequency of MN and an approximately 239-fold increase in the number of sticky chromosome, which was the most common abnormality. Vinclozolin exposure led to the formation of various CAs such as sticky chromosome, vagrant chromosome, fragment, bridge, unequal distribution of chromatin, vacuolated cell nuclei, and irregular mitosis. The genotoxic effect of vinclozolin exposure predominantly manifested as MN and sticky chromosomes.

When chromosome damage is examined, fragment and bridge formation occur as a result of breaks in chromosomes and chromatids. The reunion of broken chromosomes leads to bridge formation. Vagrant chromosomes are observed when a chromosome fails to be pulled to the poles as a result of mitotic spindle damage. Sticky chromosomes are induced by defects in nucleic acid metabolism or the degradation of DNA-associated protein. The formation of

chromosomal aberrations detected by cytogenetic analysis can be attributed to a number of mechanisms. No comprehensive study demonstrating the genotoxicity of the fungicide vinclozolin on plant cells is available in the current literature. However, studies on the genotoxic effects of other fungicides have been conducted. Güç et al.[13] reported that exposure to the fungicide ridomil caused a decrease in the cell division rate and an increase in the number of chromosomal aberrations in root tip cells of *A. cepa*.

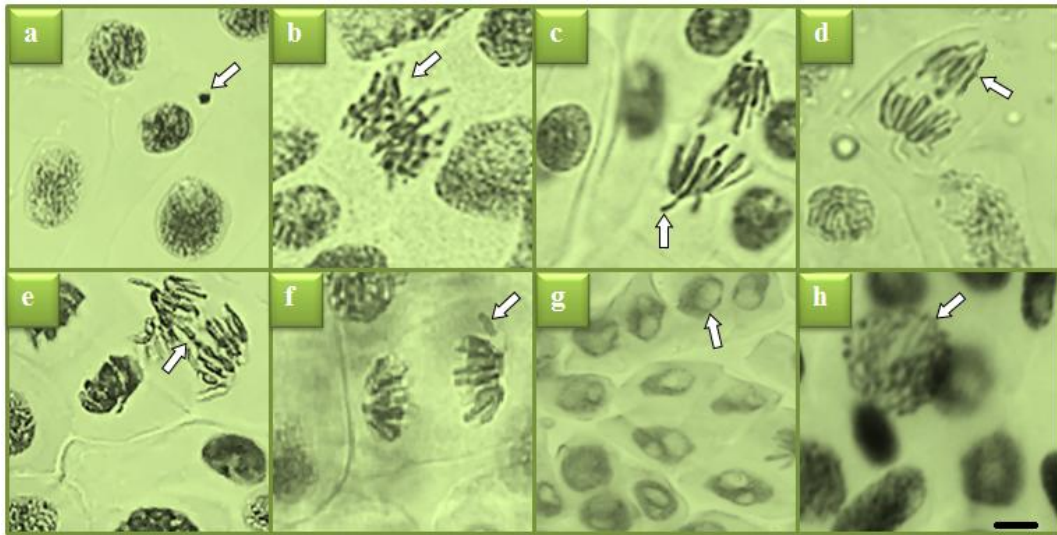


Figure 1. Chromosomal Damage Induced by Vinclozolin. MN (a), Sticky Chromosome (b), Vagrant Chromosome (c), Unequal Distribution of Chromatin (d), Bridge (e), Fragment (f), Vacuolated Nucleus (g), Irregular Mitosis (h). Bar = 10 µm.

Table 1. Genotoxicity Induced by Vinclozolin

Abnormalities	Group I	Group II	Group III	Group IV
MI	910±17.4 ^a	836±15.8 ^b	735±13.5 ^c	640±11.3 ^d
%	(9.10)	(8.36)	(7.35)	(6.40)
MN	0.16±0.38 ^d	21.5±1.52 ^c	38.2±2.36 ^b	77.3±4.39 ^a
Sticky chromosome	0.30±0.48 ^d	19.5±1.46 ^c	35.3±2.18 ^b	71.9±4.15 ^a
Vagrant chromosome	0.17±0.35 ^d	15.0±1.32 ^c	29.8±1.96 ^b	65.4±3.90 ^a
Unequal distribution of chromatin	0.20±0.42 ^d	12.3±1.22 ^c	25.7±1.78 ^b	53.7±3.61 ^a
Bridge	0.10±0.32 ^d	10.2±1.13 ^c	21.4±1.60 ^b	45.6±3.38 ^a
Fragment	0.00±0.00 ^d	8.70±0.94 ^c	17.3±1.42 ^b	36.7±3.07 ^a
Vacuolated nucleus	0.00±0.00 ^d	7.00±0.88 ^c	14.5±1.34 ^b	30.5±2.61 ^a
Irregular mitosis	0.00±0.00 ^d	4.50±0.79 ^c	9.30±0.96 ^b	16.2±1.36 ^a

Group I: Control, Group II: 25 mg/L vinclozolin, Group III: 50 mg/L vinclozolin, Group IV: 100 mg/L vinclozolin. Values are shown as mean ± SD (n=10). 1,000 cells were analyzed in each group for MN and chromosomal damage, and 10,000 cells were analyzed in each group for MI. Means indicated with different letters (a-d) within the same line are significant at $p < 0.05$.

4. CONCLUSION

The widespread use of fungicides has been shown to have significant toxic effects on non-target organisms. The fungicide vinclozolin has demonstrated genotoxic effects in non-target *A. cepa* by inducing MN and CAs, as well as cell cycle abnormalities. Consequently, it is clear that fungicide use must be controlled and regulated. Alternatively, the damage caused by fungicides can be prevented by using biopesticides.

REFERENCES

- [1] Cavusoglu, K., Yapar, K., Oruc, E., Yalcin, E. Protective Effect of *Ginkgo biloba* L. Leaf Extract Against Glyphosate Toxicity in Swiss Albino Mice, *Journal of Medicinal Food*, 14, 1263-1272, 2011.
- [2] Demirtas, G., Cavusoglu, K., Yalcin, E. Anatomic, Physiologic and Cytogenetic Changes in *Allium cepa* L Induced by Diniconazole, *Cytologia*, 80, 51-57, 2015.
- [3] Peritore, A.F., Franco, G.A., Molinari, F., Arangia, A., Interdonato, L., Marino, Y., Cuzzocrea, S., Gugliandolo, E., Britti, D., Crupi, R. Effect of Pesticide Vinclozolin Toxicity Exposure on Cardiac Oxidative Stress and Myocardial Damage, *Toxics*, 11(6), 473, 2023.
- [4] D'Amico, R., Di Paola, D., Impellizzeri, D., Genovese, T., Roberta Fusco, R., Peritore, A.F., Gugliandolo, E., Crupi, R., Interdonato, L., Cuzzocrea, S., Di Paola, R., Siracusa, R., Cordaro, M. Chronic Exposure to Endocrine Disruptor Vinclozolin Leads to Lung Damage via Nrf2–Nf-kb Pathway Alterations, *International Journal of Molecular Sciences*, 23(19), 11320, 2022.
- [5] Steel, C.C. Nair, N.G. The Physiological Basis of Resistance to the Dicarboximide Fungicide Iprodione in *Botrytis cinerea*, *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 47, 60-68, 1993.
- [6] Wu, K., Li, Y., Pan, P., Li, Z., Yu, Y., Huang, J., Ma, F., Tian, L., Fang, Y., Wang, Y., Lin, H., Ge, R.S. Gestational Vinclozolin Exposure Suppresses Fetal Testis Development in Rats, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203, 111053, 2020.
- [7] Aquilino, M., Sanchez-Arguello, P., Novo, M., Martinez-Guitarte, J.L. Effects On Tadpole Snail Gene Expression After Exposure to Vinclozolin, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 568–577, 2019.
- [8] Gorczyca, G., Wartalski, K., Tabarowski, Z., Duda, M. Effects of Vinclozolin Exposure on the Expression and Activity of SIRT1 and SIRT6 in the Porcine Ovary, *Journal of Physiology and Pharmacology*, 70, 153–165, 2019.
- [9] Kaya, M., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. DNA fragmentation and Multifaceted Toxicity Induced by High-Dose Vanadium Exposure Determined by the Bioindicator *Allium* test, *Scientific Reports*, 13(1), 8493, 2023.
- [10] Çavuşoğlu, K. Yalçın, E. Spectral Shift Supported Epichlorohydrin Toxicity and the Protective Role of Sage, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(1), 1374-1385, 2023.

- [11] Kurt, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. GC–MS and HPLC Supported Phytochemical Analysis of Watercress and the Protective Role Against Paraben Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 30(3), 6033-6046, 2023.
- [12] Kuloğlu, S. S., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. LC–MS/MS Phenolic Profile and Remedial Role of *Urtica dioica* Extract Against Li₂CO₃-Induced Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-14, 2024.
- [13] Güç, İ., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Toxicity Induced by Ridomil in *Allium cepa*: Physiological, Cytogenetic, Biochemical and Anatomical Approach, *Gaziosmanpasa Journal of Scientific Research*, 8(2), 85-97, 2019.

DAMAGES INDUCED BY TRIFLURALIN HERBICIDE IN *ALLIUM CEPA* MERISTEMATIC CELLS

Dr. İlknur GÜÇ

Giresun University, ilknur_guc@hotmail.com-0000-0002-9927-1200

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

Herbicides are chemicals used to control weeds that damage agricultural crops. They are also used to eradicate invasive weeds that grow in wetlands. Global population growth and the corresponding increase in food demand have made the use of herbicides dependent in agricultural production activities. Furthermore, during application, they can affect non-target organisms such as humans, plants, and animals. Due to their chemical structure, herbicides degrade very slowly in nature. This not only causes herbicides to contaminate soil, air, the environment, and water, but also causes serious health problems. This study investigated the effects of trifluralin (TFL) on *Allium cepa*, a non-target organism. For this purpose, four groups were formed to receive TFL at concentrations of 4.0–12.0 mg/L. The control group received tap water. Ten *Allium* bulbs were used in each group. Each bulb was germinated for 72 h, and after germination, microscopic slides were prepared with root tips and treated with methylene blue. Anatomical data were obtained by examining the epidermal cells in each group. Consequently, TFL exposure reduced cell proliferation in the root tip of *A. cepa*. The dose-dependent damage parameters induced by TFL in meristem cells were examined. An increase in epidermal cell damage and flattened cell damage was observed with increasing doses of TFL herbicide. Cortical cell wall thickening and nucleolus formation were increased in Group IV, which received 12 mg/L trifluralin, compared to the control group. TFL disrupted the cellular membrane and caused damage by triggering free radical production and lipid peroxidation. These changes detected in *A. cepa* root cells demonstrate the anatomical toxicity of TFL. Furthermore, this study demonstrated that *A. cepa* is a useful and reliable bioindicator organism for toxicity assessment.

Key Words: *Allium cepa*, trifluralin, toxicity, meristem, non-target organism.

1. INTRODUCTION

Pesticide use is necessary in agricultural practices, but widespread and uncontrolled use can have toxic effects on organisms and the environment. Mass poisonings can occur as a result of improper or inappropriate use of pesticides. Furthermore, long-term pesticide exposure is associated with immune system damage, cancer, and reproductive toxicity [1]. Herbicides, among the most widely used pesticides worldwide, are known as chemicals or cultivated biological organisms that control or suppress plant growth [2]. Herbicides are agricultural chemicals frequently used for weed control to increase crop yield and quality. Their sales value accounted for approximately 48% of the total global pesticide market share in 2019 [3,4]. Trifluralin (TFL) is a dinitroaniline herbicide that inhibits mitosis and controls some broadleaf and grassy weeds [5-7]. These herbicides have long been used on various vegetables, oilseed crops, ornamentals, tobacco, tomatoes, and cotton [6,7]. Due to these uses, they can negatively impact health through environmental pollution and nutrition [8]. TFL accumulates in the atmosphere, soil, water, and sediments, posing a serious threat to the environment and humans [9,10]. TFL targets microtubules by binding to unpolymerized tubulin heterodimers, leading to the disruption of mitosis and the arrest of mitotic cells in telophase, thus inhibiting root and bud growth and killing weeds [11,12].

TFL is a type of herbicide in the dinitroaniline group, with an aniline base structure, two NO₂ groups attached to C₂ and C₆ of the benzene ring, and a trifluoromethyl group at position 4. TFL is a selective, pre-emergence herbicide widely applied worldwide since 1964 in crops such as lettuce, strawberries, carrots, and sugarcane. It acts by interrupting mitosis and inhibiting root development [13]. Although TFL is highly sensitive to ultraviolet radiation and is easily affected by photodegradation processes [14], its ability to strongly adsorb to soil particles has resulted in a prolonged mean half-life in soil [13]. According to Van Zwieten et al.[15], TFL was determined to be the second most common herbicide in cereal crop soils in Australia after glyphosate, and Karasali et al.[10] observed detectable TFL concentrations in European soils approximately four years after its ban. In this study, the non-target organism *Allium cepa* was used due to its advantages of reliability, low cost, and rapid response time. Meristematic cell damage was examined as a toxicity indicator.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Experimental Groups

In this study, trifluralin (CAS Number: 1582-09-8), whose toxicity was investigated, was prepared at three different doses: 4 mg/L TFL, 8 mg/L TFL, and 12 mg/L TFL. The toxic effects of the three different doses on *A. cepa* root tip cells were investigated anatomically, and a 72-h germination process was conducted for this purpose. Four different groups were prepared in the study. Group I was treated with tap water and served as the negative control group. Group II was germinated with 4 mg/L TFL, Group III with 8 mg/L TFL, and Group IV with 12 mg/L

TFL. For the test, healthy and sound *A. cepa* bulbs were selected, and the outer shells were gently peeled to expose the root buds. The *Allium* bulbs were placed in glass beakers containing the solution and fixed vertically, allowing the root tips to contact each other. After the roots elongated, the root tips were collected for anatomical examination.

2.2. Anatomical Examination and Scoring

Thin sections were taken from the root tips of the bulbs in each group. The sections were treated with methylene blue. Ten *Allium* bulbs were used in each group. Five root tip sections were taken randomly from each bulb. After 50 preparations were prepared for each group, the areas containing the epidermis, cortex, and cell nuclei were examined under a microscope. Five photographs were taken from each preparation for each imaged area, for a total of 250 photographs per group. Damage percentages and corresponding damage degrees according to the resulting scoring ranges are summarized as follows: areas between 0% and 19.99% were considered “no damage”; areas between 20% and 29.99% were categorized as “minor damage”; areas between 30% and 49.99% were considered “moderate damage”; and areas between 50% and 100% were classified as “severe damage.”

3. RESULTS AND DISCUSSION

Meristematic cell damage induced by the herbicide TFL is shown in Table 1. Severe damage was observed in the epidermal cell, flattened cell nucleus, and cortical cell wall thickening. Compared to the control group, meristem cell damage increased with increasing TFL doses, and this damage was highest in Group IV, which received 12 mg/L TFL. There is research in the literature that supports our study. Sheval et al.[16] found that root growth was inhibited in TFL-treated *Hordeum vulgare* L. seedlings and that the mitotic activity of meristematic cells was suppressed due to delayed metaphase progression. A study by Deme [17] found that chlorophyll levels decreased in cotton and wheat cells treated with TFL and salt compared to the control group.

Table 1. Severity of Meristematic Cell Damage Induced by the Herbicide Trifluralin

Groups	ECD	FCN	CCW	NI
Group I	-	-	-	-
Group II	+	+	+	+
Group III	++	++	++	+
Group IV	+++	+++	+++	++

Group I: Control, Group II: 4 mg/L trifluralin, Group III: 8 mg/L trifluralin, Group IV: 12 mg/L trifluralin. ECD: epidermis cell damage, FCN: flattened cell nucleus, CCW: thickening of the cortex cell wall, NI: nucleolus increase. (-): no damage, (+): mild damage, (++) moderate damage, (+++): severe damage.

Microscopic images of meristematic damage caused by trifluralin application are shown in Figure 1. Epidermal cells are the first barrier tissues of the plant that come into direct contact with the external environment. Therefore, epidermal cells are extremely sensitive to toxic chemicals. TFL, with its lipophilic properties, easily penetrated the cell membrane, disrupting membrane integrity, resulting in ion imbalances and water loss. TFL triggered free radical production and caused membrane and organelle structural deterioration through lipid peroxidation. Rapidly dividing epidermal cells in root tips underwent deformation and structural damage due to trifluralin's interference with the mitotic process. These mechanisms reveal the cause of the damage trifluralin inflicts on epidermal cells [18].

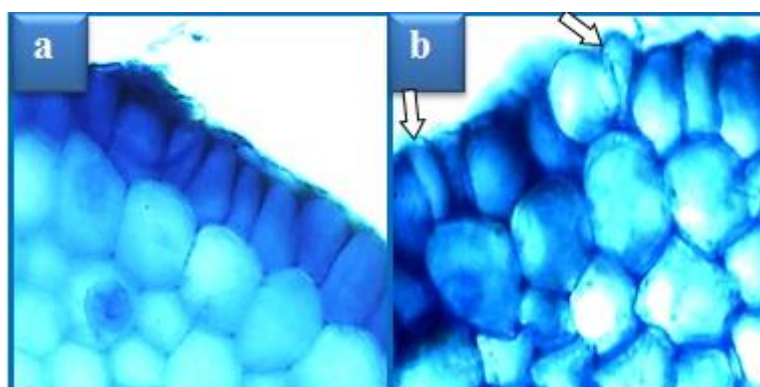


Figure 1. Meristematic Cell Damage Induced by TFL Herbicide. Normal Appearance of Epidermal Cells (a), Epidermal Cell Damage (b).

The flattened cell nucleus induced by the herbicide TFL is shown in Figure 2. The structural and functional changes induced by TFL in cells are due to intracellular stress and toxic agents. Flattened cell nuclei may be indicative of morphological changes resulting from chromatin disruption, DNA damage, and cytoskeletal stress. This is associated with a slowdown in cell proliferation or nuclear deformation during apoptosis.

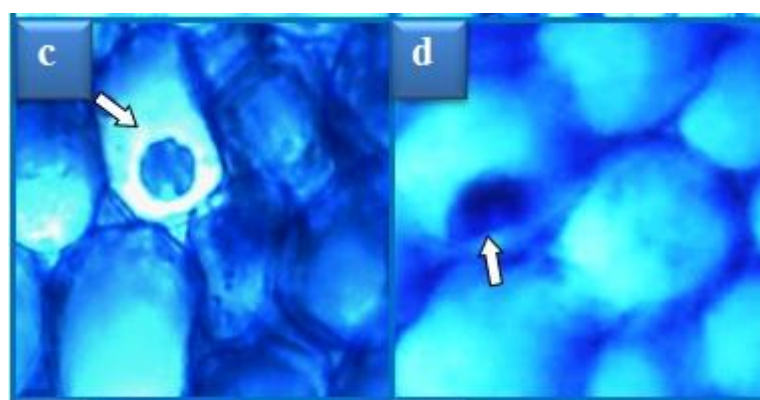


Figure 2. Nuclear Abnormalities Induced by the Herbicide TFL. Normal Appearance of the Cell Nucleus—Oval (c), Flattened Cell Nucleus (d).

Figure 3 shows the cell wall thickening induced by the herbicide TFL in root tip cortex cells. Cortex cells, the tissues that provide mechanical support and transport in roots, are highly sensitive to external factors. TFL threatened cellular integrity by causing membrane damage. In response, cells maintained structural strength by thickening the cell wall and increasing lignin and cellulose synthesis. Thus, cortex cells exposed to the toxic effects of TFL developed an adaptive defense mechanism [19,20].

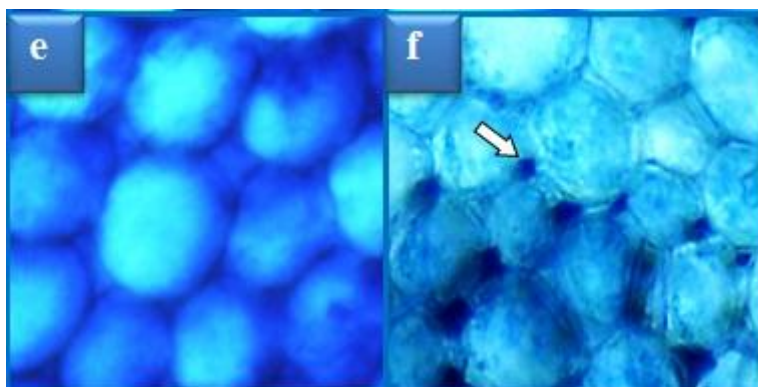


Figure 3. Meristematic Cell Damage Induced by TFL Herbicide. Normal Appearance of Cortex Cells (e), Thickening of the Cortex Cell Wall (f).

The increase in nucleolus number induced by the herbicide TFL is shown in Figure 4. Suppression of ribosomal RNA synthesis or a decreased activity of cellular metabolism may have led to the appearance of cells with a single nucleolus, as nucleolus number generally parallels protein synthesis capacity. However, in some cells, an increase in nucleolus number may be related to increased DNA damage repair mechanisms and ribosomal biogenesis due to intense stress. TFL may cause reactive oxygen species (ROS) production and adaptive or degenerative responses in the nucleus and nucleolus.

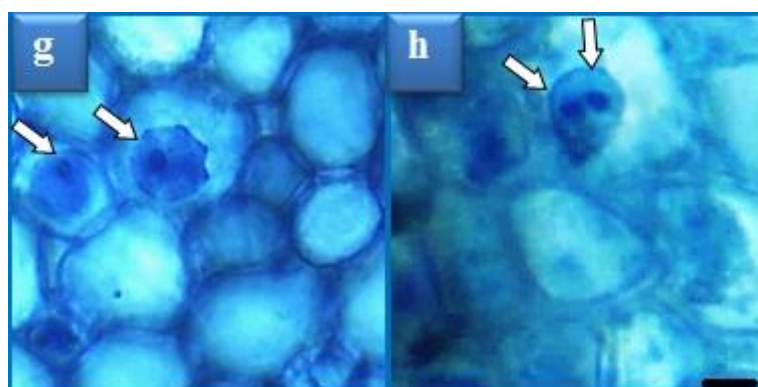


Figure 4. Nuclear Abnormalities Induced by the Herbicide Trifluralin. Cell with a Single Nucleolus (g), Increased Nucleoli (h). Bar = 10 μ M

4. CONCLUSION

Environmental pollution resulting from excessive pesticide use threatens species. Trifluralin has caused toxic effects on the non-target organism *A. cepa*. Controlled agricultural application of the widely used herbicide trifluralin and measures to minimize its accumulation in the environment will be crucial to preventing potential toxic effects on non-target organisms.

REFERENCES

- [1] Van Der Hoek, W., Konradsen, F., Athukorala, K., Wanigadewa, T. Pesticide Poisoning: a Major Health Problem in Sri Lanka, *Social Science and Medicine*, 46, 495–504, 1998.
- [2] Grube, A., Donaldson, D., Kiely, T., Wu, L. *Pesticides Industry Sales and Usage - 2006 and 2007 Market Estimates*, US EPA, Washington, 15, 2011.
- [3] De, A., Bose, R., Kumar, A., Mozumdar, S. *Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable*, Springer, New Delhi, India, 2014.
- [4] Sharma, A., Jha, P., Reddy, G.V.P. Multidimensional Relationships of Herbicides with Insect-Crop Food Webs, *Science of the Total Environment*, 643, 1522–1532, 2018.
- [5] Hoffman, J., Vaughn, K. Mitotic Disrupter Herbicides Act by a Single Mechanism but Vary in Efficacy, *Protoplasma*, 179, 16–25, 1994.
- [6] Grover, R., Wolt, J.D., Cessna, A.J., Schiefer, H.B. Environmental Fate of Trifluralin. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 153, 1–64, 1997.
- [7] Vighi, M., Matthies, M., Solomon, K.R. Critical Assessment of Pendimethalin in Terms of Persistence, Bioaccumulation, Toxicity, and Potential for Long-Range Transport, *Journal of Toxicology and Environmental Health Part B Critical Reviews*, 20, 1–21, 2017.
- [8] Wallace, D.R. *Trifluralin*, In: Wexler P, ed. *Encyclopedia of Toxicology* (3rd ed) London, Academic Press, 846–848, 2014.
- [9] Konstantinou, I.K., Hela, D.G., Albanis, T.A. The Status of Pesticide Pollution in Surface Waters (Rivers and Lakes) of Greece, Part I. Review on Occurrence and Levels, *Environmental Pollution*, 141, 555–570, 2006.
- [10] Karasali, H., Pavlidis, G., Marousopoulou, A., Ambrus, A. Occurrence and Distribution of Trifluralin, Ethalfluralin, and Pendimethalin In Soils Used for Long-Term Intensive Cotton Cultivation in Central Greece, *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 52(10), 719–728, 2017.
- [11] Fernandes, T.C., Pizano, M.A., Marin-Morales, M.A. In: *Herbicides-Current Research and Case Studies in Use: Characterization, Modes of Action and Effects of Trifluralin: A Review*, Price A.J., Kelton J.A., editors. IntechOpen; Rijeka, Croatia, 489–515, 2013.
- [12] Coleman, N.V., Rich, D.J., Tang, F.H., Vervoort, R.W., Maggi, F. Biodegradation and Abiotic Degradation of Trifluralin: a Commonly Used Herbicide with a Poorly

- Understood Environmental Fate, Environmental Science and Technology, 54, 10399–10410, 2020.
- [13] Li, Y., Li, C., Li, B., Ma, Z. Trifluralin Residues in Soils from Main Cotton Fields of China and Associated Ecological Risk, Chemosphere, 284, 131300, 2021
- [14] Erguven, G.O., Bayhan, H., Ikizoglu, B., Kanat, G., Nuhoglu, Y. The Capacity of Some Newly Bacteria and Fungi For Biodegradation of Herbicide Trifluralin Under Agiated Culture Media, Cellular and Molecular Biology, 62, 6, 74-79, 2016.
- [15] Vanzwieten, L., Rose, M., Zhang, P., Nguyen, D., Scanlan, C., Rose, T., Mcgrath, G., Vancov, T., Cavagnaro, T., Seymour, N., Kimber, S., Jenkins, A., Claassens, A., Kennedy, I. *Herbicide Residues in Soils - Are They an Issue?* Grains Research & Development Corporation, 2016.
- [16] Sheval, E.V., Kazhura, Y.I., Poleshuk, N.A., Lazareva, E.M., Smirnova, E.A., Maximova N.P., Polyakov, V.Y. Trifluralin-Induced Disorganization of Microtubular Cytoskeleton Alters the Development of Roots in *Hordeum vulgare* L, Acta Biologica Hungarica, 59(4), 465-78, 2008.
- [17] Deme, M. *Tuz, Herbisit ve Bazı Yabancı Otların Pamuk ve Buğday Bitkilerinde Klorofil ve Bazı Enzim Aktiviteleri Üzerine Etkileri*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 36, 2007.
- [18] <https://www.Inchem.Org/Documents/Impr/Jmpmono/V92pr08.Htm>
(Erişim tarihi: 17.12.2025).
- [19] Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Spectral Shift Supported Epichlorohydrin Toxicity and the Protective Role of Sage, Environmental Science and Pollution Research, 30(1), 1374-1385, 2023.
- [20] Kaya, M., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. DNA Fragmentation and Multifaceted Toxicity Induced by High-Dose Vanadium Exposure Determined by the Bioindicator *Allium* Test, Scientific Reports, 13(1), 8493, 2023.

ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION LEVELS IN THE HARSIT RIVER (GİRESUN, TURKIYE)

Dr. Fikriye ALTUNKAYNAK

Giresun University, fikriyeunluer@gmail.com-0000-0002-1028-3417

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

ABSTRACT

This study was conducted to determine heavy metal and radioactive element concentrations in the Harşit River, which flows into the Black Sea within the Giresun province. Water samples collected from different locations were analyzed using ICP-MS, and the results were compared with national and international drinking and domestic water standards. Analyses revealed that Strontium (132 µg/L), Barium (40.3 µg/L), Aluminum (48.4 µg/L), and Uranium (0.36 µg/L) were found at relatively higher levels than other elements. The concentrations of Cd, Hg, Pb, As, Cr, Ni, and Cu were far below permissible limits. Harşit River generally exhibits low metal pollution; however, Sr, Ba, Al, and U are the prominent elements. Strontium was found at high levels and has been associated with dissolution from carbonate rocks. Overall, heavy metal and radioactive element concentrations in the Harşit River were found to be low. However, it is important to monitor future changes in the concentrations of Sr, Ba, Al, and U. Periodic monitoring programs should be established, and metal inputs originating from agricultural and mining activities should be controlled.

Key Words: Harşit River, heavy metals, ICP-MS, water quality, radioactive elements.

1. INTRODUCTION

Freshwater ecosystems play a vital role both in the sustainability of biodiversity and in supporting human life. Nevertheless, increasing urbanization, agricultural activities and mining processes cause changes in the chemical composition of water resources. The contamination of water resources with heavy metals leads to deterioration of environmental quality and potential risks to human health. The Eastern Black Sea Region is geography suitable for heavy metal transport due to its steep slopes, heavy rainfall and the complexity of its hydrogeological structure. One of these rivers is the Harşit River, which originates in the province of Gümüşhane, passes through the borders of Giresun and flows into the Black Sea [1]. This study aims to evaluate the effects of heavy metals and radioactive element concentrations in Harşit River on water quality by comparing them with the determined standards.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

Surface water samples were collected from several locations along the Harşit River within the borders of Giresun province. Sampling sites were selected considering River dynamics and the presence of potential pollution sources. The collected samples were transferred into acid-washed polyethylene bottles, filtered through 0.45 µm pore diameter membrane filters, and preserved with 65% HNO₃ to pH < 2. Heavy metal concentrations in water samples were measured using an ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) device (Agilent Technologies 7700X Systems) located at the Sinop University Research Center. The device was calibrated using certified reference materials (CRM, TraceCERT®, Merck) and analyses were carried out in triplicate (n=3). The results comply with TSE 266:2018, EC Directive 98/83/EC and WHO (2017) drinking-water standards, and are presented as mean ± standard deviation (SD).

Surface water samples were collected from several locations along the Harşit River within the provincial boundaries of Giresun. Sampling sites were selected by considering River dynamics and the presence of potential pollution sources. The collected samples were transferred into acid-washed polyethylene bottles, filtered through 0.45 µm membrane filters, and preserved with 65% HNO₃ to maintain a pH below 2. Heavy metal concentrations were analyzed using an Inductively Coupled Plasma–Mass Spectrometry system (ICP-MS, Agilent 7700X). Instrument calibration was performed with certified reference materials (CRM, TraceCERT®, Merck), and all measurements were conducted in triplicate (n = 3). Results were evaluated in accordance with TSE 266:2018, the EC Directive 98/83/EC, and WHO (2017) drinking-water standards, and are presented as mean ± standard deviation (SD).

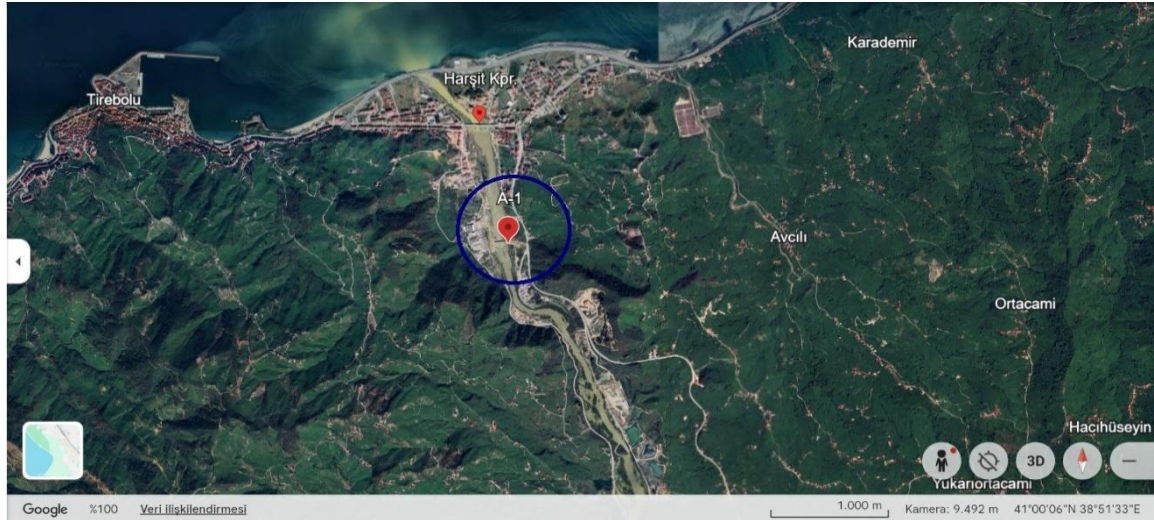


Figure 1. Geographical Location of the Harşit River. The sampling Point Was Marked on Google.com/Maps (2023) and Satellite Imagery was Generated Using the Coordinates (41°00' 06" N, 38°51' 33" E). Giresun Province is shown in Red on the Map of Türkiye in the Lower Right Corner.)

3. RESULTS AND DISCUSSION

The mean concentration values of the sixteen elements analyzed in Harşit River are presented in Table 1. Among the metals analyzed, Strontium ($132 \pm 0.47 \mu\text{g/L}$) exhibited the highest concentration. Barium ($40.3 \pm 0.94 \mu\text{g/L}$) and Aluminum ($48.4 \pm 3.60 \mu\text{g/L}$) were found to be relatively high. Although uranium ($0.36 \pm 0.01 \mu\text{g/L}$) was measured at low concentrations, it's of great environmental significant due to its radioactive characteristics. It is observed that metal pollution in Harşit River is generally at very low levels. However, the concentrations of Sr, Ba, Al and U are relatively prominent compared with the other elements measured. Strontium has been detected in high concentrations and has been associated with dissolution from carbonate rocks. Barium is of geogenic origin and can cause nervous system disorders if exposed to excessive amounts. Aluminum is an element whose solubility increases with decreasing pH and can cause gill damage in fish. Although uranium is at low levels, its radioactive properties need to be monitored regularly. Ti, Gd, Rb and Co elements are present in trace amounts and do not pose an environmental risk. The Al level detected in Harşit Creek ($48.4 \mu\text{g/L}$) is below drinking water standards. This is thought to be due to the acidic conditions and rock structure of the region. This element can be mixed into water because it dissolves Al-rich minerals such as mica, feldspar and clay. Fertilizers used in agriculture or paints and ceramics produced in factories are also possible sources. al is an element that dissolves more easily in low pH solutions. It prevents oxygen intake by damaging the gill functions of aquatic organisms and stops their growth by suppressing the development of plant roots. It has been reported that long-

term exposure in humans may lead to neurotoxic effects such as an increased risk of Alzheimer's disease [2-4].

Table 1. Heavy Metal Concentrations Detected in Water Samples from the Harşit River (µg/L, mean ± SD)

Elements	Concentration (µg/L)	Turkish Standards Institute (TSE)	European Commission (EC)	World Health Organization (WHO)	Accuracy (%)
Aluminum	48.4 ± 3.60	200	200	200	97.81
Barium	40.3 ± 0.94	-	-	700	98.46
Strontium	132 ± 0.47	-	-	-	99.19
Uranium	0.36 ± 0.01	-	-	30	-
Chromium	0.48 ± 0.02	50	50	50	97.05
Manganese	2.57 ± 0.52	50	50	50	98.80
Nickel	0.25 ± 0.01	20	20	20	97.92
Copper	1.59 ± 0.14	2000	2000	2000	99.29
Arsenic	0.68 ± 0.06	10	10	10	99.32
Lead	0.03 ± 0.19	10	10	10	98.87

Note: Data are shown as mean ± standard deviation (SD). Parametric values express maximum permissible concentrations for drinking water.

The average values of the detected metals are presented in Figure 1. The comparison of the Harşit River values with international standards is given in Figure 2.

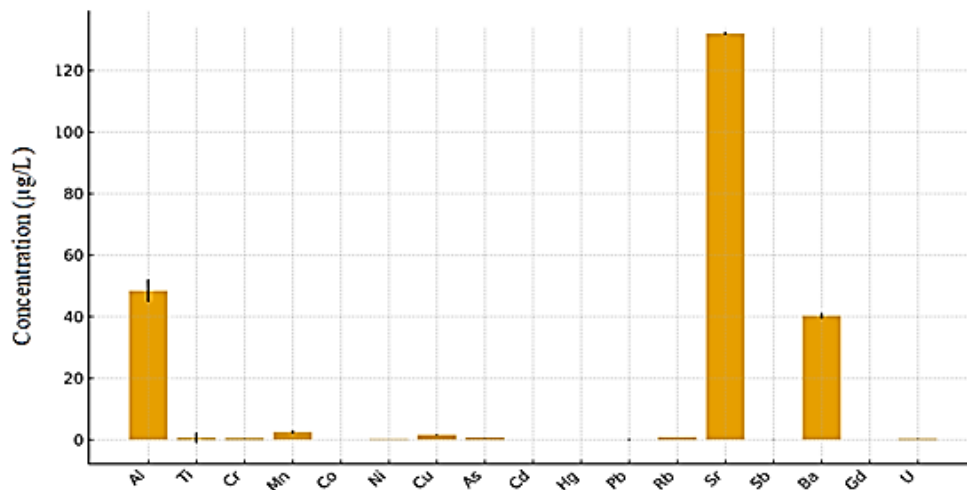


Figure 1. Harşit River: Mean Concentrations of Elements (±SD)

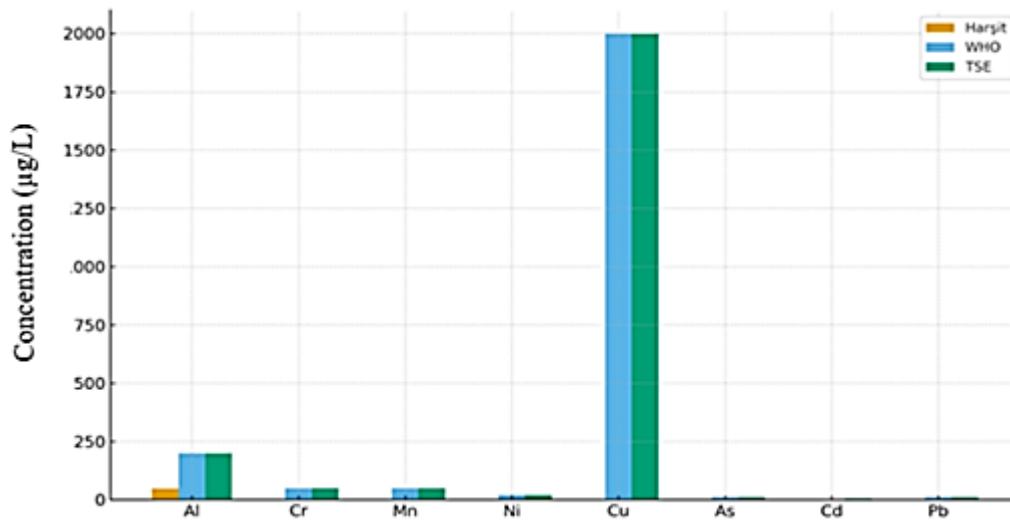


Figure 2. Comparison of Harşit River Values with WHO and TSE Limits

Ba, detected at 40.3 µg/L, indicates an accumulation of geological origin. Ba, which can leach into water from geological formations such as granite and limestone, can also be mixed into water through activities such as drilling, agricultural spraying and the paint industry. High Ba levels can lead to cardiovascular and neuromuscular disorders. It has also been reported to change swimming behavior in aquatic animals by affecting muscle contraction [5,6]. Although present in very small amounts, it is an element that must be monitored due to its potential for bioaccumulation.

Sr, detected at a concentration of 132 µg/L in the Harşit basin, is thought to originate from carbonate rocks and erosion processes. Because Sr is chemically similar to calcium, it can penetrate into bone tissue and disrupt the biological balance. Long-term exposure in humans may cause skeletal deformation and bone abnormalities. Observations show that there are deteriorations in the shell and skeletal structures of aquatic creatures [7,8].

Although the U concentration (0.36 µg/L) appears low, it poses a potential environmental hazard. The presence of U minerals in the geological region and the use of phosphate fertilizers can cause the element to leach into the water. U exhibits both chemical and radioactive toxicity, which can lead to impaired kidney function, DNA damage, and genotoxic effects [9,10]. Therefore, even at very low concentrations, it must be carefully evaluated in terms of ecosystem and human health.

Bayram and Önsoy [11] evaluated the effects of Kürtün Dam on the water quality of Harşit River. In this context, physical and inorganic chemical parameters were monitored; a decrease in nitrite nitrogen level and an increase in COD and ammonium levels were detected. As a result of the analysis, it was concluded that the post-dam water quality was classified as Class I in terms of most parameters. Kodat and Tepe

[12] examined sediment respiration rates in the Harşit River and found that microbial respiration at an average level of 1.97 mg CO₂/g was associated with very little organic matter accumulation and that limited organic pollution in the bottom sediments of the River was not significant. Ünsal et al. [13] investigated the terrestrial sources of heavy metals in the Eastern Black Sea and determined that the Harşit River is an important source of transport of metals such as mercury, lead, cadmium and zinc to the Black Sea. The highest lead and cadmium concentrations in sediment samples were detected in samples taken from the point where the Harşit River flows into the sea. According to the research of Ünsal et al. [13] on the terrestrial sources of heavy metals in the Eastern Black Sea, the Harşit River is an important source of metals such as mercury, lead, cadmium and zinc transported to the Black Sea. They stated that lead and cadmium were highest in sediment samples taken from the point where the Harşit River flows into the sea.

4. CONCLUSION

Heavy metal and radioactive element concentrations in Harşit River were generally found to be low. However, it is important to monitor Sr, Ba, Al and U concentrations in the future. Periodic monitoring programs should be established and metal inputs from agriculture and mining should be controlled. The public should be informed about water quality. Sediment and biota samples should be analyzed for metal accumulation, and potential genotoxic effects should be assessed using biological tests.

REFERENCES

- [1] T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. *Doğu Karadeniz Havzası Kuraklık Yönetim Planı*, 2023.
- [2] Exley, C. Human Exposure to Aluminium, *Environmental Science: Processes Impacts*, 15, 10, 2013.
- [3] Gensemer, R. W., Playle, R. C. The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29, 4, 1999.
- [4] <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> (Erişim tarihi: 10.12.2025).
- [5] USEPA. Toxicological Review of Barium and Compounds, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 2012.
- [6] Clarkson, T. W., Magos, L. The Toxicology of Metals—Critical Review, *Critical Reviews in Toxicology*, 36, 2, 2006.
- [7] Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A. B. *Trace Elements from Soil to Human*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

- [8] ATSDR. Toxicological Profile for Strontium, U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004.
- [9] Bleise, A., Danesi, P. R., Burkart, W. Properties, Use and Health Effects of Depleted Uranium (DU): A review, Journal of Environmental Radioactivity, 64, 2–3, 2003.
- [10] Sheppard, M. I., Evenden, W. G. Mobility and Plant Uptake of Uranium and Thorium in Soils, Journal of Environmental Quality, 17, 4, 1988.
- [11] Bayram, A., Önsoy, H. Barajların Su Kalitesine Etkilerinin İncelenmesi: Kürtün Barajı Örneği (Harşit Çayı—Gümüşhane), II. Su Yapıları Sempozyumu, Diyarbakır, Türkiye, 219-231, 2011.
- [12] Kodat, M., Tepe, Y. Çoruh Nehri, Melet Irmağı ve Harşit Çayı Sedimentlerinde Solunum Oranlarının Belirlenmesi, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 23, 1, 2022.
- [13] Ünsal, M. Karadeniz'de Ağır Metal Kirliliği, Aquaculture Studies, 2005, 1, 1998.

**ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS AND POLLUTION
LEVELS IN THE AKSU STREAM (GIRESUN, TURKIYE)**

Dr. Fikriye ALTUNKAYNAK

Giresun University, fikriyeunluer@gmail.com-0000-0002-1028-3417

Prof. Dr. Emine YALÇIN

Giresun University, emine.yalcin@giresun.edu.tr-0000-0002-5280-5375

Prof. Dr. Kültiğın ÇAVUŞOĞLU

Giresun University, kultigin.cavusoglu@giresun.edu.tr-0000-0002-4767-9132

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate heavy metal concentrations and potential pollution pressures in the Aksu Stream, which flows into the Black Sea in Giresun, Türkiye. Water samples collected from various locations were analyzed using ICP-MS. Analysis showed that Al (79.5 ± 15.0 µg/L), Ba (42.5 ± 15.1 µg/L), and Sr (27.1 ± 10.1 µg/L) were present at notable levels. Although U (1.12 ± 0.03 µg/L) was low, it is still considered unsuitable for drinking water. As (1.6 ± 0.10 µg/L), Pb (0.07 ± 0.01 µg/L), Cd (0.00 µg/L), and Hg (0.05 ± 0.01 µg/L) were detected at very low levels. Other metals such as Cr (0.54 ± 0.08 µg/L), Ni (0.26 ± 0.01 µg/L), Cu (1.53 ± 0.07 µg/L), and Co (0.07 ± 0.01 µg/L) were well below standard limits. The results indicate generally low pollution levels in the Aksu Stream. However, relatively high concentrations of Al, Ba, and Sr are noteworthy and may be associated with the geological characteristics. Most heavy metal concentrations in the Aksu Stream were below international standards. However, the levels of Al, Ba, and Sr warrant careful evaluation. Future studies should include biological toxicity assessments to provide a more comprehensive ecological evaluation.

Key Words: Aksu Stream, heavy metals, ICP-MS, water quality.

1. INTRODUCTION

Freshwater ecosystems are essential for the conservation of biodiversity and the continuation of human life [1,2]. However, urbanization, industrialization, and population growth are putting intense pressure on water resources [3]. This pressure not only reduces the quantity of water but also deteriorates its quality, ultimately leading to a growing global water scarcity problem. Pollution in aquatic environments threatens not only the balance of ecosystems but also public health [4]. For this reason, monitoring pollutants in surface waters is of great importance in preventing potential environmental and social risks that may arise in the future. Heavy metals are elements that do not easily break down in the environment and can accumulate in living tissues, leading to toxicity [4,5]. Elements such as arsenic, lead, cadmium, and mercury can cause serious health problems even in low concentrations. Therefore, regularly monitoring metal levels in surface waters is essential for both ecological balance and for public health [6].

The vast majority of water pollution is caused by different chemical contamination. Industrial waste, agricultural pesticide waste, and detergent waste cause significant changes in water chemistry. And also, natural waters can cause decomposition through interaction with minerals, ores, and rocks, thus leading to the mixing of metals into the water. Therefore, groundwater can sometimes contain various toxic metals. Since drinking water is also obtained from these sources, its chemical composition is constantly changing. Long-term consumption of water containing toxic heavy metals for drinking purposes can negatively affect organism health. Especially the presence of heavy metals such as As, Mn, Cu, Cd, Hg, Pb and Cr in water used for drinking can lead to problems such as thinning of the skin, kidney damage, liver cirrhosis, and communication disorders in the nervous system. Therefore, in order to determine whether water is potable, various organizations have accepted certain values as limit values in terms of metal concentration [5,7].

The Aksu Stream originates from Karagöl Lake and flows into the Black Sea from the eastern side of Giresun city center. This stream, which is approximately 70 km long, is under pressure from agricultural activities, residential areas, and limited industrial activity [8]. The region's steep topography and high precipitation in the region can transport metals into surface waters through erosion. In this study, heavy metal levels in Aksu Stream were compared with international standards and evaluated by comparing them with studies conducted on Batlama Stream.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

Water samples were taken from different points of the Aksu Stream during the spring and summer seasons. Heavy metal concentrations in water samples were measured using an ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer) device (Agilent Technologies 7700X Systems) located at the Sinop University Research Center. Measurements were performed in triplicate, and their accuracy was ensured using certified reference materials. The obtained values were compared with the criteria of TSE, EC and WHO. The samples were stabilized with acid under appropriate conditions before being injected into the instrument. Elements ionized in a high-temperature plasma environment were separated and measured in the mass detector. The reliability of the analyses was verified using internationally certified reference standards. Selected sampling points on the Aksu Stream were evaluated, and the obtained data were marked on a map/satellite image (Figure 1).

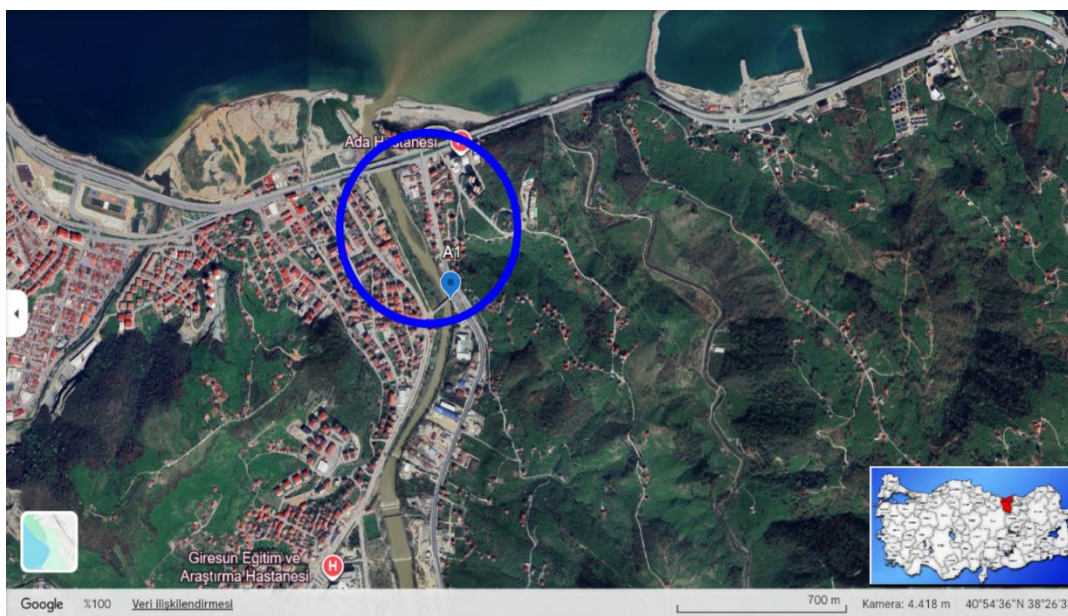


Figure 1. Geographic Location of Aksu Stream. The Sampling Point was Marked on google.com/maps (2023) and the Satellite Image was Obtained Using the Coordinates (40°54'31"N, 38°26'33"E). Giresun Province is Shown in Red on the Map of Türkiye in the Lower Right Corner.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the analyses, it was observed that Al (79.5 ± 15.0 µg/L), Ba (42.5 ± 15.1 µg/L), and Sr (27.1 ± 10.1 µg/L) were present at remarkably high levels. Although U levels were detected at a low level (1.12 ± 0.03 µg/L), it is not considered suitable for drinking water. As (1.6 ± 0.10 µg/L), Pb (0.07 ± 0.01 µg/L), Cd (0.00 µg/L) and Hg (0.05 ± 0.01 µg/L) elements were detected at remarkably low levels. Other metals such as Cr (0.54 ± 0.08 µg/L), Ni (0.26 ± 0.01 µg/L), Cu (1.53 ± 0.07 µg/L) and Co (0.07 ± 0.01 µg/L) were found to be well below the standard guideline values (Table 1, Figure 1 and Figure 2).

Table 1. Heavy Metal Concentrations Detected in Aksu Stream Water Samples

		Maximum parametric values for drinking/utility water (µg/L)			
Elements	Concentration (µg/L)	Turkish Standards Institute (TSE)	European Union (EC)	World Health Organization (WHO)	Accuracy (%)
Aluminum	79.5 ± 15.0	200	200	200	97.81
Titanium	1.13 ± 0.98	0	0	0	-
Chromium	0.54 ± 0.08	50	50	50	97.05
Manganese	1.83 ± 0.12	50	50	50	98.80
Cobalt	0.07 ± 0.01	0	0	0	99.80
Nickel	0.26 ± 0.01	20	20	20	97.92
Copper	1.53 ± 0.07	2000	2000	2000	99.29
Arsenic	1.61 ± 0.10	10	10	10	99.32
Cadmium	0.00 ± 0.00	5	5	3	98.31
Mercury	0.05 ± 0.01	0	0	0	-
Lead	0.07 ± 0.01	10	10	10	98.87
Rubidium	1.98 ± 0.05	0	0	0	-
Strontium	271 ± 10.1	0	0	0	99.19
Antimony	0.35 ± 0.04	5	5	5	98.87
Barium	42.5 ± 1.05	0	0	0	98.46
Godolinium	0.05 ± 0.01	0	0	0	-
Uranium	1.12 ± 0.03	0	0	0	-

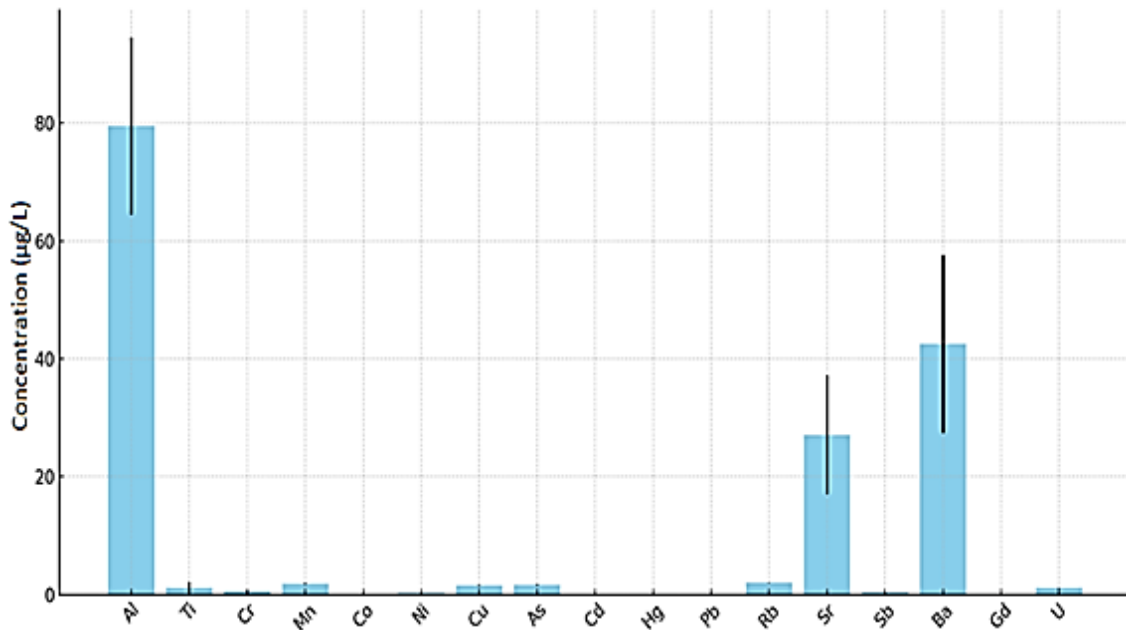


Figure 1. Heavy Metal Concentrations in Aksu Stream Water Samples

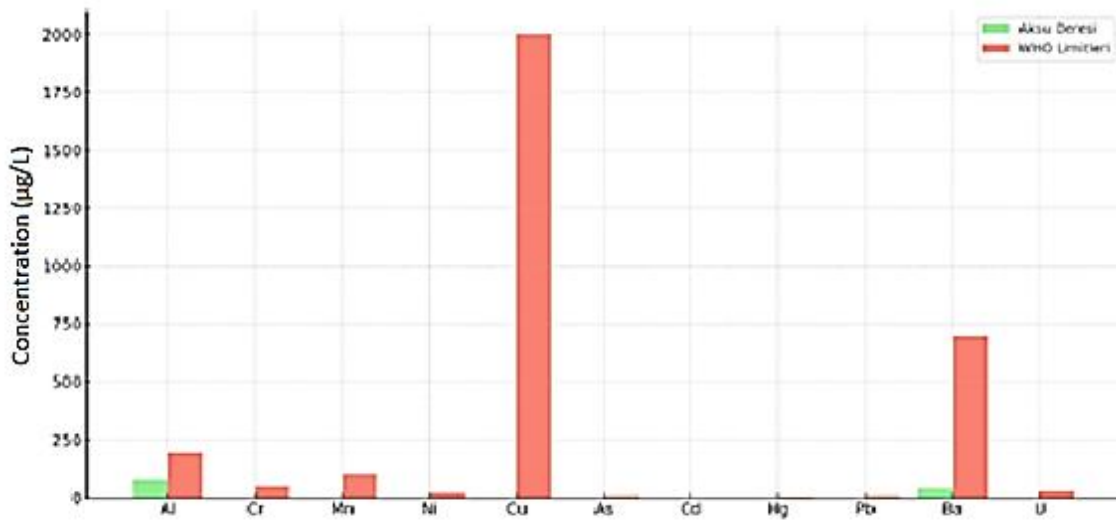


Figure 2. Comparison of Aksu Stream Values with WHO Limit Values (Selected Metals)

The results obtained from the Aksu Stream generally indicate a low pollution levels. However, the relatively high concentrations of Al, Ba, and Sr are noteworthy and may be associated with the geological structure of the region [6]. Detecting low levels of toxic metals does not pose a risk in the short term, however, due to their bioaccumulation potential, they may present problem in the long term. Agricultural activities, particularly

the application of fertilizers and pesticides, can lead to increased Cu and Zn concentrations in surface waters [9]. The elevated Al level observed in the Aksu stream is related to the geological characteristics of the region. Al may enter the natural environment through the dissolution of minerals such as feldspar, mica, and clays. Low pH values can increase this dissolution, leading to higher Al concentrations in the water. In addition, agricultural fertilizers and industrial activities such as ceramics and paint can also provide additional aluminum input to the water. An excessive amount of Al poses risks to both the environment and human health. In fish, it can disrupt gill function, leading to death, and inhibit root development in plants, reducing nutrient uptake. In humans, long-term exposure has been reported to negative effects on the nervous system and may increase the risk of Alzheimer's disease [10,11].

The elevated Ba level detected in the Aksu stream can be attributed to the geological structure of the region and human-induced activities. This element can naturally enter surface waters through the dissolution of rocks such as granite and limestone. In addition, Ba compounds used in drilling operations, agricultural pesticides and the paint industry can provide additional barium input to the environment. High levels of Ba exposure can have adverse effects on the cardiovascular and nervous systems in humans. In aquatic organisms, it has been reported to impair muscle function, leading to reduced mobility and behavioral changes [12,13].

High levels of Sr detected compared to standard values are generally found in carbonate rocks and can be transported into surface waters through erosion, particularly from calcareous soils. This element can negatively affecting skeletal development in humans by replacing calcium in bone tissue, and long-term exposure can lead to bone deformities. In aquatic organisms, it can cause deterioration in bone and shell structure, contributing to disruption of physiological balance [12,13].

Although the U level is low in the Aksu stream, this element still represents an important environmental risk factor. U minerals may be found naturally in the geological structure of the region. In addition, the use of phosphate fertilizers is also a significant source of U input into the aquatic environments. Although detected at low concentrations, U is considered dangerous to water quality due to its toxic and radioactive properties. While it is associated with kidney damage and carcinogenic effects in humans, it is reported to cause genetic abnormalities and adverse impacts on the reproductive system in aquatic organisms [14,15].

The heavy metal concentrations obtained in this study were generally found to be lower compared to previous findings reported in the literature. Studies conducted on Batlama Stream have reported that Al levels are much higher than in Aksu Stream, and the results

of the *Allium* test indicate genotoxic effects [16]. This situation indicates that the Batlama Stream is under greater pollution pressure, while Aksu is in a better condition. However, regular monitoring and the application of advanced bioassays are required for both streams. The toxic effects of heavy metal contamination, particularly in plants, have been tested in numerous studies in the literature [17-23].

As a result of this study, most of the heavy metals measured in Aksu Stream remained below international standard values. However, Al, Ba, and Sr levels should be carefully evaluated in terms of water quality. Although toxic metals were found in low concentrations, long-term monitoring is necessary due to their bioaccumulation potential. It is recommended that biological toxicity tests also be conducted in future studies.

REFERENCES

- [1] Meybeck, M., Chapman, D., Helmer, R. *Global Freshwater Quality: a First Assessment*, Blackwell Reference, Oxford, 1990.
- [2] UNESCO. *The United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*, Paris: UNESCO Publishing, 2020.
- [3] Vörösmarty, C. J., Moore III, B., Grace, A. L., Gildea, M. P., Melillo, J. M., Peterson, B. J., Steudler, P. A. Global Threats to Human Water Security and Stream Biodiversity, *Nature*, 467(7315), 555–561, 2010.
- [4] World Health Organization (WHO). *Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed., incorporating the first addendum)*, Geneva: WHO, 2017.
- [5] Shanbehzadeh, S., Vahid Dastjerdi, M., Hassanzadeh, A., Kiyanizadeh, T. Heavy Metals in Water and Sediment: a Case Study of Tembi Stream, *Journal of Environmental and Public Health*, 2014(1), 858720, 2014.
- [6] Topaldemir, H. *Giresun'daki Akarsularda Ağır Metal İçerikleri ve Çevresel Risk Değerlendirmesi*, Ordu Üniversitesi Açık Arşiv, 2021.
- [7] Amjad, M., Hussain, S., Javed, K., Khan, A. R., Shahjahan, M. The Sources, Toxicity, Determination of Heavy Metals and Their Removal Techniques From Drinking Water, *World*, 5(2), 34-40, 2020.
- [8] Türkmen, A., Akbulut, S. Giresun Sahilindeki Bazı Derelerin Denize Deşarj Olduğu Noktalardaki Su ve Sedimentte Ağır Metal Kirliliği. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 3(9), 707-714, 2015.
- [9] Kaur, T., Sinha, A. K. Pesticides in Agricultural Run Offs Affecting Water Resources: A Study of Punjab (India). *Agricultural Sciences*, 10(10), 1381-1395, 2019.
- [10] Exley, C. Human Exposure to Aluminium. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 15(10), 1807–1816, 2013.

- [11] Gensemer, R. W., Playle, R. C. The Bioavailability and Toxicity of Aluminum in Aquatic Environments, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29(4), 315–450, 1999.
- [12] USEPA. *Toxicological Review of Barium and Compounds*, U.S. Environmental Protection Agency, 2012.
- [13] Clarkson, T. W., Magos, L. The Toxicology of Metals—Critical Review, *Critical Reviews in Toxicology*, 36(2), 93–123, 2006.
- [14] Bleise, A., Danesi, P. R., Burkart, W. Properties, Use and Health Effects of Depleted Uranium (DU): a Review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 64(2–3), 93–112, 2003.
- [15] Sheppard, M. I., Evenden, W. G. Mobility and Plant Uptake of Uranium and Thorium in Soils, *Journal of Environmental Quality*, 17(4), 627–633, 1988.
- [16] Altunkaynak, F., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Detection of Heavy Metal Contamination in Batlama Stream (Türkiye) and the Potential Toxicity Profile, *Scientific Reports*, 13(1), 11727, 2023.
- [17] Altunkaynak, F., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Assessment of Multifaceted Toxicity Induced by Heavy Metal Contamination in the Gelevera Stream Using the *Allium* Test, *Scientific Reports*, 15(1), 33037, 2025.
- [18] Doğan, M., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., Acar, A. Comprehensive Toxicity Screening of Pazarsuyu Stream Water Containing Heavy Metals and Protective Role of Lycopene, *Scientific Reports*, 12(1), 16615, 2022.
- [19] Aydın, D., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Metal Chelating and Anti-Radical Activity of *Salvia officinalis* in The Ameliorative Effects Against Uranium Toxicity, *Scientific Reports*, 12(1), 15845, 2022.
- [20] Yalçın, E., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, D., Çavuşoğlu, K. Multi-protective Role of *Echinacea purpurea* L. Water Extract in *Allium cepa* L. Against Mercury (II) Chloride, *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62868–62876, 2021.
- [21] Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Determination of Protective Effect of Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Extract Against Cobalt (II) Nitrate-Induced Toxicity, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40253–40261, 2020.
- [22] Çavuşoğlu, D., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E. Mitigative Effect of Green Tea Extract Against Mercury (II) Chloride Toxicity in *Allium cepa* L. Model, *Environmental Science and Pollution Research*, 29(19), 27862–27874, 2022.
- [23] Üstündağ, Ü., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K. Effect of *Melissa officinalis* L. leaf Extract on Manganese-Induced Cyto-Genotoxicity on *Allium cepa* L, *Scientific Reports*, 13(1), 22110, 2023.

BALIN APİTERAPÖTİK ÖZELLİKLERİ VE SAĞLIKTA KULLANIMI APITHERAPEUTIC PROPERTIES OF HONEY AND USING IN HEALTH

Prof. Dr. Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

banu.yucel@ege.edu.tr ; ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Dr. Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Zootekni Bölümü, İzmir, Türkiye

ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

ÖZET

Bal, yüzyıllar boyunca insan sağlığında tedavi edici ve hastalık önleyici etkisi ile pek çok toplumsal kültürde ve folklorik tıpta önemli bir yere sahip olmuştur. Günümüzde Dünya'nın pek çok yerindeki Apiterapi merkezlerinde bilimsel araştırmalarını sürdüren tıp hekimleri ve sağlık çalışanları, arı ürünlerinin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koyan çalışmalarını bilim dünyası ile paylaşmaktadır. Pandemi sonrası doğal beslenme ve sağlıklı yaşam farkındalığının giderek geliştiği günümüzde özellikle balın sağlık üzerindeki etkisine yönelik çok fazla sayıda araştırma ortaya konulmaktadır. Balın özellikle yara ve yanıklarda, sindirim ve sinir sistemi rahatsızlıklarında, göz hastalıklarında, organizmanın detoksifikasyonunda önemli düzeyde fayda sağladığı bilinmektedir. Farklı nektar kaynaklarından elde edilmiş balların değişik hastalıklarda umutvar sonuçlar verdiği ifade edilmektedir. Kekik balı solunum sistemi, çam balı gastrointestinal sistem, kestane balı ve karabaş otu balı vazodilatif, narenciye ve lavanta balı sedatif etki göstermektedir. Balın üretim özelliği nedeniyle, kovandan hasat edildikten sonra hiçbir temizleme işlemine tabi tutulamaması nedeniyle kalitesinin ve yüksek sağlık etkisinin korunabilmesi için, pestisid ve sentetik ilaç kalıntısı içermeyen, hastalıktan arı kolonilerden elde edilmesi ve yüksek besin içeriğinin korunarak tüketiciye sunulması sağlanmalıdır. Bu nedenle, konu ile ilgili multidisipliner çalışmalar gerçekleştirilmeli, arı ürünlerinin sağlıkta koruyucu ve tıbbi tedaviyi tamamlayıcı özelliklerinin detaylı olarak araştırıldığı "Apiterapi" çalışmaları kapsamlı şekilde sürdürülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Bal, sağlık, apiterapi.

1. GİRİŞ

Dünya'da genel olarak kabul edilen tanımı ile bal; bitkilerin çiçeklerinde bulunan nektarların (balözü) veya bazı eş kanatlı böcekler tarafından bitkilerin canlı kısımlarından yararlanarak salgıladıkları tatlı maddelerin bal arıları tarafından toplandıktan sonra vücutlarında bileşimlerinin değiştirilmesi ve petek gözlerinde olgunlaşması sonucunda meydana gelen tatlı bir üründür [1].

Tarihsel süreçte yaklaşık 1500 yıl öncesine ait bal kalıntıları bulunmuştur. Bal, eski Mısır'da temizlik ve saflık sembolü olarak değerlendirilmiş, eski Mısır mezarları içerisinde yaklaşık 3200 yıllık olduğu tahminlenen bal kalıntıları bulunmuştur. M.Ö. 7.yy'dan kalma olduğu düşünülen tıbbi tabletlerdeki droglarda bal ve balmumu ile ilgili bilgilere rastlanmıştır. Bal, Antik Çağ'da da zenginlik, ihtişam ve bilgelik sembolü olarak kabul edilmiştir. Anadolu uygarlıklarından Hitit döneminde arıcılık faaliyetleri ile ilgili yazıtlar bulunmuştur [2]. Bal hemen her kutsal kitapta atfedilmiş, ebedi yaşam sembolü olarak kabul edilmiştir [3].

Bal, yüzlerce yıldır Folklorik tıp içerisinde oldukça fazla kullanılan bir arı ürünü olmuş, Halk hekimliğinde ve birçok tıbbi drog içerisinde şifa kaynağı olarak değer kazanmıştır [4]. Hipokrat, bulunan eski yazıt ve metinlerde balın insan yaşamı için hava ve su kadar önem taşıdığını, kadim tıbbin tartışmasız önderi İbni Sina balın çok değerli bir panzehir olduğunu, pek çok tıbbi tedavide tek başına veya bitkilerle karıştırılarak, merhem, drog, şerbet, macun halinde şifa kaynağı olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir [3].

2. BALIN YAPISI VE İÇERİĞİ

Arılar tarafından ziyaret edilerek balın hammaddesi nektarın çiçekten petek gözüne depolanmasına kadar geçen süreçte pek çok faktör balın bileşimini ve kalitesini etkilemektedir. Bal, arıların ziyaret ettikleri nektar kaynağına, iklim şartlarına ve üretildiği mevsime göre farklı bileşim gösterebileceğinden ötürü sabit bir bal kompozisyonunu zikretmek mümkün değildir [5]. Karbonhidratlar, proteinler, asitler, enzimler, su, nişasta ve dekstrin benzeri ürünler, aroma bileşenleri, mineraller, polen taneleri ve vitaminler balın bileşimini meydana getiren unsurlardır [1].

Bal üretildiği nektar kaynağına göre değişkenlik göstermekle birlikte uluslararası ortalama genel normlar içerisinde yapısında; %18 nem, %40 fruktoz, %34 glukoz ve %10 sakkaroz içermektedir. Vücudumuzun gereksinim duyduğu kalsiyum, sodyum, bakır, çinko ve magnezyum, B-kompleks vitaminleri (tiamin, riboflavin, nikotinik asit, biotin ve pridoksin), C vitamini, protein ve aminoasitleri içermekte olup, yapısında yağ bulunmamaktadır [1, 6, 7].

3. BALIN MODERN TIPTA KULLANIMI

Balın son zamanlarda özellikle pandemi sonrasında toplumun doğal beslenme eğiliminin giderek artmasıyla, gıda ve gıda takviyesi olarak kullanımında önemli düzeyde artış görülmüştür. Ayrıca ilaç ve kozmetik endüstrisinde de önemli bir doğal ürün olarak kullanılması dikkat çekici olmuştur. Balın emsalsiz bir fonksiyonel gıda ürünü olması, sağlığa olan olumlu etkisi modern tıpta kullanımı üzerine araştırmalar yapan apiterapi merkezleri başta olmak üzere yoğunlaşmıştır. Balın bütüncül tıp literatüründe 1300'den fazla hastalıkta tedavi edici amaçla kullanıldığı bildirilmektedir [7].

Bal, başta deri yanık ve yaraları olmak üzere, deri iltihaplarında, nekrotik dokuların tedavisinde, ödemlerin giderilmesinde önemli bir fonksiyona sahiptir. Bal ile yapılan klinik çalışmalar, açık yaraların hızla iyileşerek, kapandığını ortaya koymaktadır. Deri yanıklarının tedavisinde bal uygulanan gruptaki hastaların, sentetik kimyasal ilaç uygulanan hastalara göre daha hızlı iyileştiği, dokularda granülasyonun daha kaliteli olarak meydana geldiği belirlenmiştir [8]. Bal uygulaması ile tedavide başarısızlık oranının çok düşük olduğu ön görülmektedir. Özellikle enfeksiyonlu yaralarda balın uygulanmasıyla yara daha steril halde

kalabilmektedir. Yara üzerine topikal olarak bal uygulaması, yara üzerinde meydana gelen kızarıklık, şişme ve ağrı komplikasyonlarını azaltmaktadır. Çok sayıda vakada, yaralara bal uygulaması sırasında hafif bir batma hissi dışında herhangi bir olumsuz etki hissedilmediği, zararlı bir yan etki görülmediği bildirilmiştir [8, 9,10].

Antimikrobiyal, antifungal, antimikotik ve antibakteriyel etkisi ile bal uygulaması yaraları dezenfekte eder, yarada olası bakteri, mantar ve mikrop gelişimini önler [10, 11, 12]. Balın; *Clostridium botulinum*, *Echericia coli*, *Salmonella typhimurium*, *S.sonnei*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* üzerine etkili olduğu yapılan çok sayıda araştırma ile ortaya konulmuştur [13, 14, 15]. Ayrıca balın yapısındaki tokoferol, askorbik asit, flavonoidler ve diğer fenolik-enzim bileşenleri ile yüksek düzeyde antioksidatif etkiye, enzimler nedeniyle antiseptik özelliği sahip olduğu bilinmektedir [12, 14, 16, 17].

Balın gastrointestinal sistem üzerinde düzenleyici etki gösterdiği, gastrit ve mide ülseri etkeni olan *Helicobacter pylori*'nin gelişmesini önlediği, mide iç yüzeyini kapayarak mide spazmlarını rahatlattığı ve kolit çözücü etki gösterdiği belirtilmiştir [18, 19]. Balın ağız içi ülser ve yaraları üzerindeki tedavi edici etkisi, ağız içi mikrobiyal mukozasındaki bakterisid etkisi ile diş çürümelerinde protektif etki gösterdiği belirlenmiştir [20]. Balın, karaciğerin daha iyi çalışmasını sağlayarak, besinlerden en yüksek düzeyde biyoyararlanım sağladığı, kan şekeri düzeyini dengelediği ve son derece etkin bir enerji kaynağı olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır [7, 18, 21].

Sinir sistemi üzerindeki sedatif etkisi, alkali yapının etkisiyle yorgunluk giderici, sakinleştirici özellikleri ile baş ağrısına, uykusuzluğa, depresyona, anksiyeteye iyi gelmektedir. Ayrıca bal vücudun immün (bağışıklık) sistemini güçlendirmekte ve nekahat dönemindeki hastaların hızlı iyileşmesine imkan sağlamaktadır [6, 7, 8]. Yapılan bilimsel çalışmalar, koyu renkli olan salgı ballarının daha fazla mineral madde içermesi ve kandaki hemoglobin düzeyini yükseltmesi nedeniyle özellikle anemik hastalarda endike edici özellik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu tür rahatsızlıkları olan kişilerin mineral madde ve fenolik bileşiklerce zengin olan koyu renkli salgı ballarını (Çam, meşe, kestane vb) tercih etmesi önerilmektedir [18, 22].

Bal; dolaşım sistemi içerisinde bulunan kanda tonik etkisi yaratarak kanı inceltmekte, kan akışını ve damar elastikiyetini artırarak kalbi kanla beslemekte, kalp kaslarını güçlendirmektedir. Balın yağ içermemesi özellikle kalp hastalarının diyet listelerine eklenmesi gereken önemli bir gıda olarak öne çıkmaktadır [18,19].

Bal topikal uygulama kolaylığı ve yüksek etkinliği nedeniyle özellikle gözde görülen iltihabi akıntı, konjunktivit, katarakt ve kornea enfeksiyonlarında başarılı sonuçlar vermektedir. Bu uygulamalarda temiz bir gazlı bez üzerine pestisitten ari, organik veya iyi üretim uygulamaları ile elde edilmiş, petek gözlerinden steril uçsuz şırınga ile çekilerek uygulanan bal, günde 3-4 kez kompres yapılarak göze tatbik edilmektedir [7, 8].

Balın elde edildiği kaynağa bağlı olarak farklı hastalıkların tedavisinde kullanıldığı bildirilmektedir. Kekik balı solunum sistemi hastalıklarında (özellikle astım ve bronşit), kestane balı tansiyonun dengelenmesinde, meşe balı anemi tedavisinde ve bağışıklık sistemini desteklemede, narenciye ve lavanta balı sinir sistemi rahatsızlıklarında, akasya balı diyabet hastalarında insülin salgılanmasının dengelenmesinde kullanılmaktadır [7].

4. SONUÇ VE GENEL DEĞERLENDİRME

Bal insan sağlığı için son derece değerli bir gıdadır. Sağlıklı ve kaliteli doğal yaşam, ve beslenme bilincinin giderek geliştiği günümüzde modern tıpta balın kullanımı daha fazla yer almaktadır. Yüksek kaliteli besin yapısı ve insan sağlığı açısından taşıdığı önemli etkiler nedeniyle, sürdürülebilir sağlıklı beslenme bilinci içerisinde balın kalıntısız ve arı üretimi, tüketimi konusunda toplumsal farkındalığın kazandırılması gerekmektedir. Bu amaçla multidisipliner bilimsel araştırmalarla balın arı kursağındaki saflığa yakın üretiminin, tüketiminin ve sağlık amaçlı kullanımının sürdürülebilir hedeflerle gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Crane, E. 1975. Honey: A Comprehensive Survey, Morrison and Gibb Ltd., London, 608p.4
2. Ötleş, S. 1999. Balın Tarihçesi, Sağlık Açısından Önemi ve Kullanım Alanları. Gıda Teknolojisi, Ankara.
3. Üçer, M. 1984. İbni Sina'nın kanun fi't-tıbb'ında bal ve kına ile yapılan ilaçlar üzerine etkileri. Uluslararası İbni Sina Sempozyumu, Bildiriler Kitapçığı, Ankara. 323-331.
4. Demirhan, A. 1981. Balın halk tedavilerindeki yeri ve modern tıp açısından önemi. *Dirim*, 96 (11-12): 364-367.
5. Tolon, B. 1999. Muğla ve Yöresi Çam Ballarının Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 117s.
6. Thawley, A.R. 1969. The Components of Honey and Their Effects on Its Properties. A Review. *Bee World*, 50(2): 51-60.
7. Stangaciu, S. 1999. Internet Apitherapy Course Notes; <http://www.apitherapy.com> (Lesson 25:Honey composition; Lesson: 46:Honey indications)
8. Molan, P. 1999. Why honey effective as a medicine? I. Its use in modern medicine. *Bee World*, 80(2), 80-92.
9. Chirife, J., G. Scarmato, L. Herszage. 1982. Scientific basis for use of granulated sugar in treatment of infected wounds. *The Lancet*: 560-561.
10. Bergman, A., J. Yanai, J. Weiss, D. Bell, P. Menachem and M. D. David. 1983. Acceleration of wound healing by topical application of honey, *The American Journal of Surgery*, 145: 374-376.
11. Topaloğlu, Ü., N., Topaloğlu. 1985. Bal ve yara iyileşmesindeki rolü. *Paramedikal*, 2(3): 72.
12. Haspolat, K., S. Büyükbaş, H. Çengel. 1990. Balın invitro antibakteriyal ve antifungal etkisi, *Türk Hij.Den.Biyol.Dergisi*, 47(2): 211-216.
13. Greceanu, A and V. Enciu. 1976. Observations on the antibiotic effects of propolis, pollen and honey. 2nd International Symposium on Apitherapy, Bucharest. Apimondia Publishing House; Bucharest, Romania; pp 177-179.
14. Dustmann, J H. 1979. Antibacterial effect of honey. *Apiacta* 14(1): 7-11.

15. Grochowski, J and M.Bilinska.1987. Biological activity of pollen, bee bread and honey relative to selected bacterial strains. Proceedings of the XXXIst International Apicultural Congress of Apimondia, Warsaw, Poland. Apimondia Publishing House; Bucharest, Romania; pp 462.
16. Christian, J.H.B, and J.A. Waltho. 1964 The composition of *Staphylococcus aureus* in relation to the water activity of the growth medium. *Journal of General Microbiology* 35: 205-218.
17. Mizrahi, A and R. Doron.1982. Antimicrobial effects of hive products. *Israel Journal of Medical Sciences* 18(5): 23.
18. Hanssen, M. 1985. The Healing Power of Polen and Other Bee Products From the Beehive: Propolis-Royal Jelly- Honey. Thorsons Publishers Limited, Wellingborough, Northhamptonshire/England.
19. Haffeejee, I.E. and A.Moosa. 1985. Honey in the treatment of infantile gastroenteritis. *British Medical Journal*, 290: 1866-1867.
20. Yandı, M., H. Turgutalp, A. Mollaoğlu, M. Öncü, E.Alhan. 1989. Bal ve %25 dekstrozun stres ülserinde koruyucu etkileri “karşılaştırmalı bir çalışma”, *KTÜ Tıp Fakültesi Dergisi*, 2(3):523-531.
21. Tolon, B. 1997. Apiterapi; Arı Ürünlerinin İnsan Sağlığındaki Önemi, *Hayvansal Üretim* 37:73-83.
22. Doğaroğlu, M.1992. Arıcılık Ders Notları, T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayınları No.36, 3.Basım, Tekirdağ.

BALDA TAĞŞIŞ: GÜNCEL UYGULAMALAR VE ANALİTİK BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Dr., Ekin VAROL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü,
ekin.varol@ege.edu.tr- 0000-0003-4382-5427

Prof. Dr., Banu YÜCEL

Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootečni Bölümü,
banu.yucel@ege.edu.tr- 0000-0003-4911-7720

ÖZET

Bal, yüksek ve kaliteli besleyici değere sahip olan, bununla birlikte ekonomik getirisi de yüksek olan doğal bir üründür. Bununla birlikte bal, en sık tağşişe uğrayan gıda ürünlerinden de biridir. Balda tağşiş, glikoz-fruktoz şurupları, invert şeker ya da nişasta bazlı şuruplar gibi dış kaynaklı karbonhidratların ilave edilmesi, aşırı ısıl işlem uygulanması, uzun süreli veya uygunsuz depolama koşulları veya doğru olmayan botanik ve coğrafi etiketleme yoluyla gerçekleştirilebilmektedir. Balda karşılaşılan tağşiş türlerinin belirlenmesinde klasik ve ileri analitik yöntemler kullanılmaktadır. Hidroksimetilfurfural (HMF) miktarı, diastaz aktivitesi, nem oranı, elektriksel iletkenlik ve şeker kompozisyonu gibi fizikokimyasal göstergeler, ısıl işlem ve kalitenin belirlenmesinde ön bilgi sağlamaktadır. Dış kaynaklı şeker ilavesinin tespitinde ise özellikle C3 ve C4 bitkisel kaynaklı şekerlerin ayrımını mümkün kılan izotop analizi temel yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Balda sakkarit profillerinin ayrıntılı olarak karakterize edilmesi için ise yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) gibi kromatografik teknikler kullanılmaktadır. Bununla birlikte nükleer manyetik rezonans (NMR) yöntemi ise balda suyun manyetik özelliklerini kullanarak su miktarını analiz eder. Yakın kızılötesi spektroskopisi (NIR) ile balın saflığı tespit edilebilmekte ve balın botanik ve coğrafi kökeni doğrulanabilmekte; Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) ile doğal ve tağşişli örneklerin hızlı şekilde ayırt edilmesi mümkün olabilmektedir. Bu analizlere ek olarak, melissopalinojik analizler ile balın botanik orijini doğrulanabilir. Balda tağşişin güvenilir şekilde belirlenmesi hem halk sağlığının korunması hem de balın biyolojik, ekonomik ve ticari değerinin sürdürülebilirliği açısından temel bir gerekliliktir. Balın doğallığının ve gerçekliğinin güvenilir biçimde değerlendirilmesi, çoklu analitik yaklaşımların birlikte kullanılmasını gerektirmektedir.

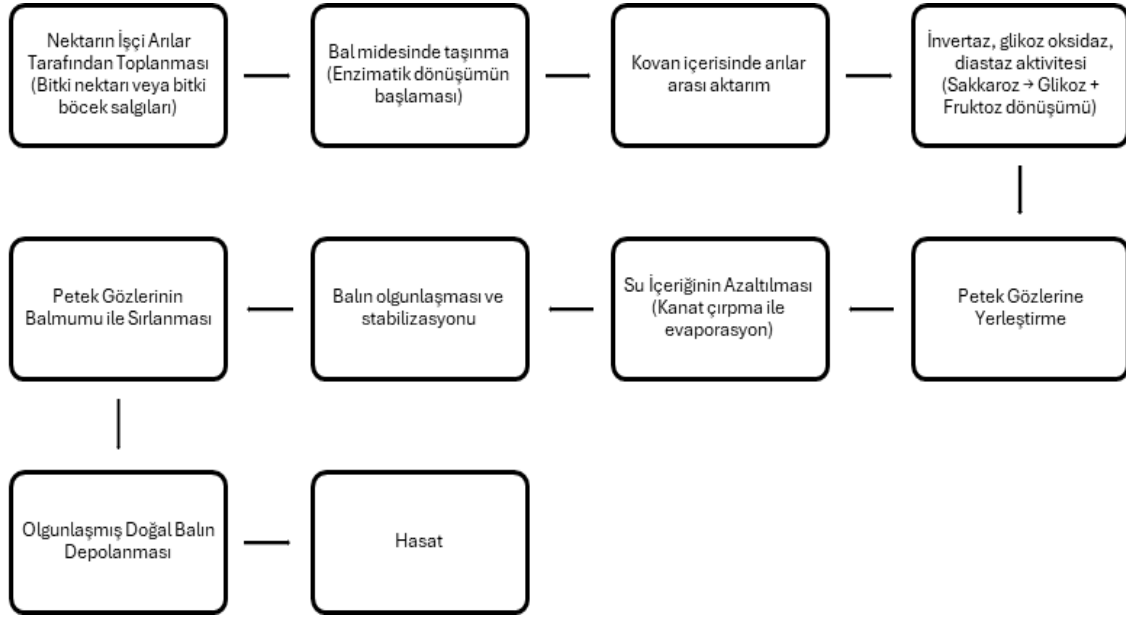
Anahtar Kelimeler: Bal, tağşiş, analiz, analitik yöntemler, gıda güvenliği

1. ANTİK ÇAĞDAN GÜNÜMÜZE BALIN ÖNEMİ

Bal, bal arıları tarafından üretilen; amino asitler, mineraller, vitaminler, enzimlerce zengin ve antioksidan, antimikrobiyal ve antienflamatuvar etkiler sağlayan fenolik bileşikler içeren konsantre bir doğal gıdadır. Bal, insanlık tarihindeki en eski doğal gıdalardan biridir ve antik çağlardan itibaren beslenme, sağlık ve kültürel alanlarda önemli bir yer edinmiştir. Balın, en az 8.000-10.000 yıldır insan toplumlarının merkezinde yer aldığı bilinmektedir. Paleolitik/Neolitik dönemden kalma kaya resimleri bal avcılığı yapıldığını göstermektedir. İnsanların yabani arı kolonilerinden bal topladığına dair ilk kanıtlar, balın avcı-toplayıcı toplumlar için önemli enerji kaynağı olduğunu göstermektedir. Bir yetiştirme sistemi olarak arıcılık ise MÖ 3000-2500 yıllarında Mısır ve Mezopotamya'da ortaya çıkmıştır [1,2,3,4]. Tarihsel süreçte bal ilk olarak tatlandırıcı ve ilaç olarak, daha sonra ise ticari bir ürün ve klinik bir araç olarak kullanılmıştır. Sümer tabletleri, Mısır papirüsleri, Vedic metinler, Yunan ve Roma yazıları balı gıda, yara tedavisinde kullanılan genel bir ilaç olarak tanımlamaktadır. Birçok dini metin (İncil, Kuran, Vedalar) ise balın sağlık ve sembolik değerini övmektedir [1,3,5,6]. Bal ve balmumu beslenme, ritüeller ve ticarete önemli bir yer tutmuştur; örneğin Hitit ve diğer eski kültürlerdeki yasalar, arı kovanlarının değerli bir mülk olarak korunduğunu bildirmektedir [3,4]. Modern arı yetiştiriciliği ve bal üretimi ise 19. yüzyılda hareketli çerçeveli arı kovanlarının kullanımı ile küresel ticareti büyük ölçüde artırmıştır. Günümüzde ise bal, beslenme, tıp, kültür ve ekonomi açısından önemini korumaktadır.

2. DOĞAL BALIN OLUŞUM SÜRECİ

Bal, esas olarak basit şekerler (yaklaşık %80 fruktoz ve glikoz) ve su (yaklaşık %17-20) ile az miktarda mineral, vitamin, amino asit, organik asit, enzim ve bitki kaynaklı fenolik bileşiklerden oluşan doğal, tatlı bir sıvıdır ve bileşimi, arıların beslendiği nektar kaynağına ve bölgeye göre değişim göstermektedir [7,8,9]. Bal üretimi, bal arılarının dahil olduğu çok aşamalı bir süreçtir. Balın oluşum sürecinde, tarlacı işçi arılar çiçeklerden nektarı veya bitki/böcek salgılarını emer ve özel bal midelerinde depolarlar. Kovana döndüklerinde, kovadaki diğer arılar nektarı girişin yakınında ağız-ağıza değişim (trofalaksi) yoluyla orta yaşlı “işleyici” arılara aktarırlar. Bu arılar, nektarı tekrar tekrar yutar ve kusar ve bunları birçok petek hücresine dağıtır. Arıların bezlerinden salgılanan enzimler (özellikle invertaz, amilaz, glikoz oksidaz, katalaz) nektardaki sükrozu fruktoz ve glikoza hidrolize eder, diğer karbonhidratları değiştirir ve glukonik asit ve hidrojen peroksit üretir. Sükrozun çoğu yaklaşık 5-6 gün içinde parçalanır ve bal olgunlaştıkça basit şekerler birikir. Arılar kanatlarını çırparak petek gözlerinde bulunan nektardaki suyu buharlaştırır, böylece şeker konsantrasyonu artar ve artık bala dönüşmeye nektardaki su oranı %20'nin altına düşer. Bu olgunlaşma aşaması genellikle birkaç gün sürer. Nektar, stabil, düşük nemli bala dönüştükten sonra, arılar dolu hücreleri balmumu kapakla kapatarak, özellikle kış veya kıtlık dönemleri için uzun süreli gıda olarak saklarlar, Görsel 1.



Görsel 1. Balın doğal oluşum süreci

Bal, sadece “yoğun nektar” değildir. Bal arıları, özel enzimleri ve kanat çırpma davranışları ile çiçek nektarını aktif olarak yoğunlaştırır, kimyasal olarak dönüştürür ve korur, onu zaman içinde koloniyi besleyen, enerji açısından zengin, stabil bir gıda haline getirir.

3. BALDA TAĞŞIŞ VE ÇEŞİTLERİ

Günümüzde bal; biyokimyasal içeriği, antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile fonksiyonel gıda ve Apiterapi alanlarında bilimsel araştırmaların odağında yer almakta, aynı zamanda sürdürülebilir arıcılık ve ekosistem sağlığı açısından stratejik bir ürün olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte ne yazık ki bal, en sık tağşişe uğrayan gıda ürünlerinden biridir. Balda tağşişin bu kadar yoğun yapılmasının sebepleri arasında balın yüksek ekonomik değere sahip olması, üretiminin zaman ve emek gerektirmesi, doğal bileşiminin karmaşık bir yapıya sahip olması ve tüketici tarafından ayırt edilmesinin zor olması ile şeker şuruplarının (glikoz, fruktoz, invert şeker vb.) düşük maliyetle temin edilebilir olması yer almaktadır. Gerçek bal, bal arılarının çeşitli bitkilerden nektar toplayarak ürettiği ve üretim sırasında veya sonrasında herhangi bir şeker şurubu ve katkı maddesi ilave edilmeyen baldır. Sahte bal ise tağşişli (katkılı) bal ve yapay (taklit) bal olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tağşişli veya katkı bal, üretim aşamasında arının değişik şeker şurupları ile beslenmesi, üretimden sonra bala çeşitli şeker şuruplarının katılması, farklı özellikteki balların karıştırılması, düşük nem içeriğine sahip ballara su eklenmesi gibi yapılan çeşitli işlemlerle genel bileşimi değiştirilmiş balları kapsamaktadır. Yapay bal ise, üretiminde bal arısının hiçbir katkısının olmadığı, tamamen değişik şeker şuruplarından üretilen balları tanımlamaktadır [10,11].

3.1. Doğal Bal ve Tağşişli Balın Farkları

Doğal balın veya gerçek balın kendine has bir kokusu vardır, kaynağına bağlı olarak farklı ve zengin aromaya sahiptir, doğal olarak polen, perga ve balmumu içerir. Çam balı hariç doğal olarak kristalize olabilir, akışkan fakat yoğun bir tekstüre ve boğazı hafif yakıcı bir tada

sahiptir. Tağışlı veya yapay bal ise genelde kokusuzdur ve çok aromatik bir tada sahip değildir. İçeriğinde polen bulunmaz ve kristalize olmaz. Akışkan olmayan veya fazla akışkan olan bir tekstüre sahiptir. Doğal bal, karakteristik şekerler, enzimler, polen ve bitki kaynaklı bileşikler ile kimyasal ve besin açısından daha zengindir. Sahte veya tağışlı balda genellikle şeker yapısı bozulmuştur, biyoaktif bileşen miktarı düşüktür ve kalite parametreleri farklılık göstermektedir. Doğal balda bulunan tipik fruktoz/glikoz oranları tağışlı balda farklılık göstermekle birlikte, doğal balda düşük olan sakkaroz düzeyleri tağışlı ballarda yüksek gözükmemektedir. Benzer şekilde tağışlı ballarda prolin, fenolik bileşikler ve mineral maddeler de doğal ballara oranla daha düşük seviyelerde olmaktadır. Isıtma yapılmayan doğal ballarda düşük HMF düzeyleri ve yüksek diastaz sayısı gözlenirken, tağışlı ve aşırı ısıtma maruz bırakılmış ballarda yüksek kanserojen HMF miktarı ve düşük diastaz sayısı belirlenmiştir. Doğal olarak yapısında toplandığı bitki kaynağına ait polenleri içeren doğal ballara kıyasla tağışlı ballarda polen bulunmaz veya eser miktarda bulunur.

3.2.Tağışlı Balda Kalite Kaybı ve Halk Sağlığı Riskleri

Tağışlı veya yapay bal, balın doğal faydalarının çoğundan yoksundur ve insan sağlığı açısından risk teşkil edebilir. Tağışlı bal genellikle ucuz şekerler (şeker kamışı, mısır/pirinç şurubu, HFCS, invert şeker, nişasta şurupları) veya diğer dolgu maddeleriyle seyreltilir veya hacmi artırılır [11,12,13]. Bu durum, balın besin değerini ve biyolojik etkilerini değiştirir. Tağışlı balın besin değeri düşüktür, doğal balda bulunan enzimler, fenolik bileşikler ve antioksidanlar bulunmaz veya oranları çok düşüktür. Bu nedenle de doğal balın antibakteriyel, antiinflamatuvar ve antioksidan özellikleri tağışlı ürünlerde görülmez. Tağışlı baldaki değiştirilmiş enzimler ve şeker profili, glisemik etkileri gerçek baldan ziyade rafine şekere benzer hale getirebilir ve dolayısıyla doğal baldaki fonksiyonel gıda özelliği kaybolur. Basit şeker yükünün yüksek olması nedeni ile aşırı tüketimde kan şekeri dalgalanmaları, insülin direnci ve obezite ve metabolik hastalık riski vardır. Hayvan ve in vivo modeller üzerinde yapılan çalışmalarda, şekerle karıştırılmış balın uzun süreli tüketiminin, kan şekeri ve insülin düzeyini yükselterek insülin direncini ve tip 2 diyabeti teşvik edebileceği [12,13,15], trigliserid, kolesterol, visceral yağ ve BMI'yi artırarak obezite ve metabolik sendroma yol açabileceği , organ toksisitesine, özellikle yağlı karaciğer, karaciğer ve böbrek hasarına ve kalp ve beyin belirteçlerinde değişikliklere neden olabileceği bildirilmektedir [12,13,14,15]. Yapılan çalışmalarda saf bal veya kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, ticari olarak katkılı bal ile beslenen hayvanlarda ölüm oranının arttığı bildirilmektedir [16,17]. Bununla birlikte, aşırı ısıtma maruz bırakılan ballarda HMF (Hidroksimetil furfural) miktarı artacağından, potansiyel sitotoksik ve kanserojen etkilere de neden olacaktır. Ekonomik ve etik açıdan değerlendirildiğinde balda tağış, üreticiye/arı yetiştiricisine zarar verir, fiyatları düşürür, tüketicide güven kaybına neden olur.

4. BALDA TAĞİŞİ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Basit gözleme dayalı yöntemlerle balın kalitesi hakkında bazı ipuçları elde edilebilir ancak balın gerçek veya saf olduğundan %100 emin olabilmek için güvenilir laboratuvar yöntemleri gerekmektedir. Gözleme dayalı testler ile laboratuvar sonuçlarını karşılaştıran araştırmalar, bu testlerin şüpheli numuneleri tespit edebildiğini (su içeriği, farklı tat veya koku,

kristalizasyon), ancak özgünlüğü kanıtlayamadığını ortaya koymaktadır. Balın kalite tespitinde kullanılan analizler; fizikokimyasal analizler, şeker profili analizleri, spektroskopik analizler, melissopalinolojik analizler, mikrobiyolojik ve mikroskopik analizler olarak sınıflandırılabilir.

4.1. Fizikokimyasal analizler

Fizikokimyasal yöntemler ile balın temel fiziksel ve kimyasal özelliklerini ölçer ve normal aralıklardan sapmaları veya ilave şeker veya düşük kaliteyi gösteren parametreler belirlenebilir. Balın kalite, doğallık, olgunluk ve işlem görme durumu ve taşıyış şüphesinin ilk değerlendirmesinde kullanılır, Çizelge 1.

Çizelge 1. Balın kalite tespitinde kullanılan parametreler

Parametre	Amaç	Belirteç	Referans
Nem	Kalite, fermentasyon riski ve taşıyış belirleme	Su ve şeker şurubu ilavesi nem içeriğini değiştirir.	[18,19,20,21]
pH & serbest asitlik	Kalite ve taşıyış tipi belirleme	Bazı şeker şuruplarının eklenmesi asitlik düzeyini değiştirir.	[18,19,20,22,23]
Elektriksel iletkenlik ve kül	Bitki kaynağını ayırt etme veya anormal örnekleri saptama	Bu parametreler minerallerin varlığına bağlıdır; ucuz bal veya şurupların karıştırılması bu değerleri değiştirir.	[18,24,20,21]
Renk (<i>L</i> , <i>a</i> , <i>b</i> [*])**	Sınıflandırma ve taşıyış belirleme	Şeker şurubu ilavesi ve aşırı ısı işlem renk parametrelerini etkiler.	[18,21,23]
Şeker profili (fruktoz, glikoz, sakkaroz, maltoz ve diğer)	Şeker şurubu ilavesini doğrudan kanıtlama	Yüksek sakkaroz/ anormal F+G seviyeleri şeker şurubu ilavesini gösterir.	[18,19,24,25]
Hidroksimetilfurfural (HMF)	Aşırı ısı işlemi ve taşıyış durumunu belirleme	Sıcaklık, depolama ve bazı katkıları ile yükselir	[20,22,25,26]
Diastaz aktivitesi, enzimler, prolin ve protein düzeyleri	Kalite, tazelik ve dolaylı taşıyışlı belirleme	Balın şeker şurubu ile karıştırılması durumunda bu değerler azalır	[19,22,24]

Balın kalite ve doğallığının değerlendirilmesinde HMF, diastaz aktivitesi, prolin ve şeker profili en kritik parametrelerdir. Bu değerlerin standart sınırlar dışında olması, balın ısı işlemine maruz kaldığını, uzun süre depolandığını veya taşıyış olabileceğini göstermektedir.

4.2. Şeker Profili Analizleri

Balın karbonhidrat bileşimini belirleyerek doğrallık, botanik köken ve olası tağşişin ortaya konması amacıyla şeker profili analizleri yapılır. Şeker profili analizleri, balın karbonhidrat bileşiminin detaylı olarak belirlenmesini sağlayarak, özellikle dışarıdan şeker ilavesinin ve endüstriyel şurup katkısının tespitinde en güvenilir yöntemler arasında yer almaktadır. Balda şeker kompozisyonunun belirlenmesi, ürünün doğrallığının değerlendirilmesi ve olası tağşiş uygulamalarının ortaya konulması açısından önemli bir kalite kriteridir. Fruktoz/Glukoz oranı (F/G), balın kristalizasyon eğilimini, botanik kökenini ve doğal şeker dengesini yansıtan temel bir parametre olup genellikle 0,9–1,4 aralığında bulunur. Toplam fruktoz ve glukoz miktarı çiçek ballarında en az %60, salgı ballarında ise en az %45 olmalıdır; bu değerlerin düşük olması, balın şeker şurupları ile seyreltilmiş olabileceğine işaret edebilir [24,27]. Sakkaroz (sükroz) miktarı genel olarak %5'in altında olmalı, bazı monofloral ballarda bu sınır %10'a kadar çıkabilmektedir. Yüksek sakkaroz düzeyi erken hasat, yetersiz enzimatik dönüşüm veya dışarıdan şeker ilavesi şüphesi oluşturur [24,28]. Bunun yanı sıra maltoz ve diğer oligosakkaritlerin analizi, endüstriyel şurup katkısının varlığını ve kullanılan şurubun türünü belirlemede önemli bilgiler sağlar. Ayrıca kromatografik yöntemler, bu analizlerin doğrulanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ana şekerlerin kantitatif belirlenmesini sağlarken, gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) karbonhidrat profilinin detaylı incelenmesine ve olası şurup katkısının karakterizasyonuna imkân vermektedir [23,26]. Karbon izotop oran analizi (IRMS, $\delta^{13}\text{C}$), özellikle mısır ve şeker kamışı gibi C4 bitkilerinden elde edilen şekerlerin tespitinde kullanılarak C3 ve C4 bitki kökenlerinin ayırımına olanak tanır [29,30]. Bu analizler birlikte değerlendirildiğinde balın özgünlüğü ve kalite düzeyi güvenilir şekilde ortaya konulabilmektedir.

4.3. Spektroskopik Analizler

Spektroskopik yöntemler, balın moleküler düzeyde karakterizasyonuna olanak sağlayarak kalite değerlendirmesi ve tağşiş tespitinde yüksek doğruluk sunar. Fourier Transform Infrared Spektroskopisi (FTIR), bu alanda en yaygın kullanılan yöntemlerden biri olup şeker şurubu tağşişinin belirlenmesi, nem ve temel bileşenlerin analizi ile balın spektral parmak izinin oluşturulmasına olanak sağlar [19,31]. Ayrıca kemometrik yöntemler (PCA, PLS) ile kullanıldığında farklı botanik kökenlerin ayırımı ve sınıflandırılması mümkün olmaktadır. Near Infrared Spektroskopisi (NIR) ise özellikle endüstride hızlı ve pratik tarama amacıyla kullanılmakta olup balın nem ve kuru madde içeriğinin belirlenmesi, şeker kompozisyonunun değerlendirilmesi ve olası tağşiş uygulamalarının ön taramasında etkili sonuçlar vermektedir [32]. UV-Vis spektrofotometri, klasik ve yaygın kullanılan yöntemlerden biri olarak hidroksimetilfurfural (HMF) tayini, renk ve absorbans özelliklerinin belirlenmesi ile toplam fenolik madde ve antioksidan kapasitenin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır ve UV-Vis ile baldaki birden fazla şurup türü algılanabilir. Son yıllarda kullanımı giderek artan Raman spektroskopisi, şeker şurubu katkısının tespit edilmesi, karbonhidrat yapısının incelenmesi ve moleküler düzeydeki farklılıkların ortaya konulması açısından önemli avantajlar

sunmaktadır [31, 33]. Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) spektroskopisi ise yüksek doğruluk ve ayrıntılı analiz kapasitesi sağlayan ileri düzey bir yöntem olup balın botanik ve coğrafi orijininin belirlenmesi, kapsamlı metabolit profilinin ortaya konulması ve tağşişin doğrulanmasında kullanılmaktadır [34]. Ancak yüksek maliyet ve teknik altyapı gereksinimi, bu yöntemin kullanımını sınırlayan başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Spektroskopik analizler özellikle kemometri veya derin öğrenme ile birleştirildiğinde, balın sahteciliğini ve yanlış etiketlenmesini hızlı, tahribatsız ve giderek daha hassas bir şekilde tespit eder ve hem laboratuvar hem de yeni ortaya çıkan taşınabilir/yerinde uygulamalar için uygundur.

4.4. Melissopalinojik Analizler

Melissopalinojik analiz, balın menşei ve yanlış etiketleme sahtekarlıklarının tespitinde temel bir araçtır, ancak tek başına tağşişi tespit edemez. Bal içerisindeki polenlerin tanımlanması ve yoğunluklarının belirlenmesi yoluyla [35] balın botanik ve coğrafi kökeninin doğrulanmasını sağlar. Ayrıca bu yöntem, balların monofloral veya polifloral olarak sınıflandırılmasını sağlayarak ürünün ekonomik değerinin belirlenmesi ve haksız kazancın önlenmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte melissopalinojik analizlerin bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Bu yöntem şeker şurubu katkısı veya sentetik bal gibi tağşiş türlerini doğrudan tespit edemez; çünkü bu tür ürünlerde polen bulunmaz. Bu nedenle analiz daha çok köken sahteciliği ile aşırı filtrasyon veya yoğun işleme uygulamalarının ortaya konulmasında etkilidir. Ayrıca bitki çeşitliliğinin çok yüksek olduğu bölgelerde (örneğin bazı okaliptüs ballarında) polen kompozisyonu ile nektar kaynağının kimyasal özellikleri her zaman örtüşmeyebilir ve bu durum botanik doğrulamada hatalara yol açabilir. Bunun yanı sıra yöntem zaman alıcıdır, uzman deneyimine bağlıdır ve düşük örnek kapasitesi nedeniyle yüksek verimli rutin analizler için sınırlılıklar taşımaktadır. Melissopalinojik analiz, botanik ve coğrafi kökenlerin yanlış etiketlenmesini tespit etmek ve polenle ilgili kaliteyi kontrol etmek için çok önemlidir, ancak şeker şurubu eklentisi ve tağşişi güvenilir bir şekilde tespit etmek için kimyasal ve spektroskopik yöntemlerle birleştirilmelidir.

4.5. Diğer Analizler

Balın kalite ve özgünlüğünün değerlendirilmesinde mikrobiyolojik ve mikroskopik analizler, ürünün hijyenik durumu ve işleme koşulları hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Mikrobiyolojik analizler ile balın toplam mikroorganizma yükü, maya ve küf varlığı ile olası patojen kontaminasyonu belirlenerek ürünün gıda güvenliği ve depolama stabilitesi değerlendirilmektedir. Mikroskopik incelemeler ise balın doğal yapısının doğrulanmasına katkı sağlayarak polen, balmumu parçacıkları, bitkisel dokular, nişasta granülleri ve diğer yabancı partiküllerin varlığını ortaya koymaktadır. Bu analizler, özellikle hijyenik üretim koşullarının değerlendirilmesi, aşırı filtrasyon veya uygunsuz işlem uygulamalarının belirlenmesi ve dış kaynaklı kontaminasyonların tespiti açısından önemli bir kalite kontrol aracı olarak kullanılmaktadır.

Moleküler (DNA temelli) analizler ise balın botanik ve biyolojik kökeninin genetik düzeyde doğrulanmasına olanak sağlayan ileri düzey yöntemler arasında yer almaktadır. DNA barkodlama ve metabar kodlama teknikleri kullanılarak bal içerisinde bulunan bitki türleri, polen kaynakları ve bazı durumlarda arı türü veya diğer biyolojik bileşenler yüksek hassasiyetle

tanımlanabilmektedir. Bu sayede ürünün botanik ve coğrafi orijini güvenilir biçimde belirlenebilmekte, monofloral bal iddiaları doğrulanabilmekte ve yanlış etiketleme veya köken sahteciliği gibi durumlar ortaya konulabilmektedir. Ayrıca moleküler analizler, melissopalinojenik yöntemlerle birlikte kullanıldığında köken doğrulamasında daha kapsamlı ve güvenilir sonuçlar sağlayarak balın özgünlüğünün ve kalite güvencesinin artırılmasına katkı sunmaktadır.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bal, yüksek besin değeri, fonksiyonel özellikleri ve biyolojik aktivitesi ile insan beslenmesi ve sağlığı açısından önemli bir doğal ürün olmasının yanı sıra, arıcılık sektörü ve kırsal ekonomi için de stratejik bir değere sahiptir. Ancak artan küresel talep, üretim maliyetlerinin yüksekliği ve ürünün karmaşık doğal yapısı nedeniyle bal, gıda sahteciliğine en açık ürünlerden biri haline gelmiştir. Balda tağşiş; ürünün besinsel ve biyolojik değerinin azalmasına, tüketicinin ekonomik olarak zarara uğramasına, haksız rekabetin ortaya çıkmasına ve sektöre olan güvenin zedelenmesine yol açmaktadır. Ayrıca aşırı ısı işlem, uygunsuz depolama ve düşük kaliteli katkıları, ürün güvenliği açısından da potansiyel riskler oluşturabilmektedir. Balın doğallığının ve özgünlüğünün güvenilir şekilde değerlendirilmesi, tek bir analiz yöntemine dayalı yaklaşımlarla mümkün değildir. Fizikokimyasal göstergeler kalite ve işlem geçmişi hakkında ön bilgi sağlarken, şeker profili ve izotop analizleri dış kaynaklı karbonhidrat katkısının belirlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Spektroskopik yöntemler hızlı ve tahribatsız analiz imkânı sunarak özellikle kemometrik yaklaşımlarla birlikte yüksek doğruluk sağlamaktadır. Melissopalinojenik ve moleküler yöntemler ise balın botanik ve coğrafi kökeninin doğrulanmasında tamamlayıcı ve vazgeçilmez araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu nedenle balda sahteciliğin etkin şekilde ortaya konulabilmesi için çoklu analitik yaklaşımların entegre olarak kullanılması gerekmektedir. Gelecekte, taşınabilir spektroskopik sistemler, yapay zekâ ve büyük veri temelli kemometrik modellerin geliştirilmesi ile balın sahteciliğinin daha hızlı, düşük maliyetli ve yerinde tespit edilmesi mümkün olacaktır. Bu teknolojik gelişmelerin standardizasyon çalışmaları ve uluslararası veri tabanları ile desteklenmesi, küresel ölçekte bal ticaretinde şeffaflığın ve güvenilirliğin artırılmasına katkı sağlayacaktır. Sonuç olarak, balın kalite, doğallık ve köken özelliklerinin bilimsel ve güvenilir yöntemlerle doğrulanması; tüketici sağlığının korunması, dürüst üreticilerin desteklenmesi ve arıcılık sektörünün sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

1. Sachdev, S., Kumar, A., Ansari, M. Health Benefit, Traditional, and Modern Uses of Natural Honey, Non-Timber Forest Products, 281–299, 2021.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-73077-2_12.
2. Kuropatnicki, A., Klósek, M., Kucharzewski, M. Honey as medicine: historical perspectives. Journal of Apicultural Research, 57, 113-118, 2018.
<https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1411182>.
3. Topal, E., Adamchuk, L., Negri, I., Kösoğlu, M., Papa, G., Dârjan, M., Cornea-Cipcigan, M., Mărgăoan, R. Traces of Honeybees, Api-Tourism and Beekeeping: From Past to Present, Sustainability, 13(21): 11659, 2021.
<https://doi.org/10.3390/su132111659>.

4. Demirel, S. Apiculture in Hittite cuneiform texts. The European Zoological Journal, 89, 1215 – 1222, 2022. <https://doi.org/10.1080/24750263.2022.2135782>.
5. Qamar, W., Rehman, M. Brief History and Traditional Uses of Honey, 1-10, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6799-5_1.
6. Samarghandian, S., Farkhondeh, T., Samini, F. Honey and Health: A Review of Recent Clinical Research, Pharmacognosy Research, 9, 121- 127, 2017. <https://doi.org/10.4103/0974-8490.204647>.
7. De-Melo, A., Almeida-Muradian, L., Sancho, M., Pascual-Maté, A. Composition and properties of Apis mellifera honey: A review, Journal of Apicultural Research, 57, 37, 2018. <https://doi.org/10.1080/00218839.2017.1338444>.
8. Tafere, D. Chemical composition and uses of Honey: A Review, Journal of Food Science and Nutrition Research, 4, 194-201, 2021. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000072>.
9. Da Silva, P., Gauche, C., Gonzaga, L., Costa, A., Fett, R. Honey: Chemical composition, stability and authenticity, Food chemistry, 196, 309-23, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>.
10. Korkmaz, A. Anlaşılabilir Arıcılık, Samsun Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü Yayını, 331 sayfa, Türker Matbaacılık, Samsun, 2013.
11. Kuvancı, A. Bal Çeşitleri, Oray-Bir, 13, 14, Ordu, 2018.
12. Fakhlaei, R., Selamat, J., Khatib, A., Razis, A., Sukor, R., Ahmad, S., Babadi, A. The Toxic Impact of Honey Adulteration: A Review, Foods, 9(11): 1538, 2020. <https://doi.org/10.3390/foods9111538>.
13. Prathibani, I., Rathnayake, P., Jayasekara, I., Somaratne, G. Quality, Safety, and Functional Properties of Bee Honey: A review, The Journal of Nutrition and Food Sciences, 3(1): 19-47, 2025. <https://doi.org/10.4038/jnfs.v3i1.15>.
14. Morariu, I., Avasilcăi, L., Vieriu, M., Lupu, V., Ioniuc, I., Morariu, B., Lupu, A., Morariu, P., Pop, O., Burduloiu, V., Stârcea, I., Trandafir, L. A Comprehensive Narrative Review on the Hazards of Bee Honey Adulteration and Contamination. Journal of Food Quality, 3512676, 2024. <https://doi.org/10.1155/2024/3512676>.
15. Fakhlaei, R., Selamat, J., Razis, A., Sukor, R., Ahmad, S., Babadi, A., Khatib, A. In Vivo Toxicity Evaluation of Sugar Adulterated Heterotrigona itama Honey Using Zebrafish Model, Molecules, 26, 2021. <https://doi.org/10.3390/molecules26206222>.
16. Samat, S., Enchang, F., Razak, A., Hussein, F., Ismail, W. Adulterated honey consumption can induce obesity, increase blood glucose level and demonstrate toxicity effects, Sains Malaysiana, 47(2): 353-365, 2018.
17. Keobesan, M., Gula, M. Adulterated Honey Consumption can Induce Obesity, Increase Blood Glucose Level and Demonstrate Toxicity Effects, 2018.
18. Oroian, M., Dranca, F., Ropciuc, S., Pauliuc, D. A comparative study regarding the adulteration detection of honey: Physicochemical parameters vs. impedimetric data, Current Research in Food Science, 7, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100642>.

19. Damto, T., Zewdu, A., Birhanu, T. Impact of Different Adulterants on Honey Quality Properties and Evaluating Different Analytical Approaches for Adulteration Detection, *Journal of food protection*, 100241, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100241>
20. Padiso, T., Keiphetlhetswe, M., Chinyama, M., Molwantwa, M., Sichilongo, K. Physicochemical characterization and adulteration detection of selected commercial and natural honeys from Zambia and Botswana, *Journal of Food Processing and Preservation*, 45: e15371, 2021. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15371>.
21. Ciursă, P., Oroian, M., Pauliuc, D. Detection of raspberry honey adulterated with agave, maple, rice, corn and inverted sugar syrups using instrumental techniques, *Ukrainian Food Journal*, 10(3): 479-491, 2021.
<https://doi.org/10.24263/2304-974x-2021-10-3-5>
22. Abdi, G., Tola, Y., Kuyu, C. Assessment of Physicochemical and Microbiological Characteristics of Honey in Southwest Ethiopia: Detection of Adulteration through Analytical Simulation, *Journal of food protection*, 100194, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.jfp.2023.100194>.
23. Gün, R., Karaoğlu, M. Detection of honey adulteration by characterization of the physico-chemical properties of honey adulterated with the addition of glucose–fructose and maltose corn syrups, *European Food Research and Technology*, 250, 2255 – 2272, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04535-7>.
24. Geană, E., Ciucure, C., Costinel, D., Ionete, R. Evaluation of honey in terms of quality and authenticity based on the general physicochemical pattern, major sugar composition and $\delta^{13}\text{C}$ signature, *Food Control*, 109, 106919, 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106919>.
25. Aykas, D. Determination of Possible Adulteration and Quality Assessment in Commercial Honey, *Foods*, 12, 2023. <https://doi.org/10.3390/foods12030523>.
26. Lupu, D., Sammani, M., Palacio, E., Hancu, G., Ferrer, L. Comprehensive honey analysis: a novel HPLC-DAD method for hydroxymethylfurfural quantification and quality evaluation via diastase activity and sugar profile determination, *Journal of Food Composition and Analysis*, 137, Part A, 2024.
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106925>.
27. Islam, M., Sostaric, T., Lim, L., Hammer, K., Locher, C. Sugar Profiling of Honeys for Authentication and Detection of Adulterants Using High-Performance Thin Layer Chromatography, *Molecules*, 25, 2020. <https://doi.org/10.3390/molecules25225289>.
28. Kanelis, D., Liolios, V., Tananaki, C., Rodopoulou, M. Determination of the Carbohydrate Profile and Invertase Activity of Adulterated Honeys after Bee Feeding, *Applied Sciences*, 12(7), 3661, 2022. <https://doi.org/10.3390/app12073661>.
29. Alimoradian, A., Khansari, N., Abdollahi, M., Asl, B., Asadi, S., Maghool, A., Rabiei, A., Khademi, A., Shamsi, M. Comparative analysis of conventional and IRMS techniques for honey adulteration detection in accordance with ISIRI standards, *BMC Research Notes*, 18, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13104-025-07287-z>.
30. Hawari, K., Iskandarani, M., Jaber, F., Ezzeddine, R., Ziller, L., Perini, M., Bontempo, L., Pellegrini, M., Camin, F. Evaluation of honey authenticity in Lebanon by analysis of carbon stable isotope ratio using elemental analyzer and liquid chromatography

coupled to isotope ratio mass spectrometry, *Journal of Mass Spectrometry*, 56, 2021.
<https://doi.org/10.1002/jms.4730>.

31. David, M., Berghian-Groşan, C., Măgdaş, D. Honey Differentiation Using Infrared and Raman Spectroscopy Analysis and the Employment of Machine-Learning-Based Authentication Models, *Foods*, 14, 2025. <https://doi.org/10.3390/foods14061032>.
32. Bodor, Z., Majadi, M., Benedek, C., Zaukuu, J., Bálint, M., Csobod, É., Kovács, Z. Detection of Low-Level Adulteration of Hungarian Honey Using near Infrared Spectroscopy, *Chemosensors*, 11(2), 89, 2023.
<https://doi.org/10.3390/chemosensors11020089>.
33. Wu, X., Xu, B., R., Niu, Y., Gao, S., Liu, H., Zhang, Y. Identification and quantification of adulterated honey by Raman spectroscopy combined with convolutional neural network and chemometrics, *Spectrochimica acta, Part A, Molecular and biomolecular spectroscopy*, 274, 121133, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2022.121133>.
34. Nunes, A., Sforca, M., Rocco, S., Schmitz, C., Azevedo, G., Santos, B., Moura, S., & Maraschin, M. Brazilian honey: Metabolomic analysis and characterization by 1D- and 2D-nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy and chemometrics, *Food research international*, 207, 116104, 2025.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116104>.
35. Torkamani, A., Radnejad, M., Pirzadeh, M., Zarabizadeh, H., Moghaddam, N., Hajihassani, H., Mehrabian, A. Advanced Melissopalynology For Ensuring Honey Authenticity And Quality: Insights From Diverse Floral Resources as Diverse Natural Component to Apitherapy, *BioRxivi*, 07.13.664608, 2025.
<https://doi.org/10.1101/2025.07.13.664608>.

Investigation of the Anatomical Effects of Paracetamol on *Allium cepa* Roots

Assistant Professor Selin SİPAHİ KULOĞLU

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, selin.kuloglu@giresun.edu.tr-0000-0001-9560-0225

Assoc. Prof. Tuğçe KALEFETĞOLU MACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, tugce.macar@giresun.edu.tr- 0000-0002-9946-8054

Assoc. Prof. Oksal MACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, oksal.macar@giresun.edu.tr- 0000-0002-5067-8712

Assoc. Prof. Ali ACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, ali.acar@giresun.edu.tr-0000-0001-8617-2206

ABSTRACT

The morphological effects of three distinct paracetamol dosages on *Allium cepa* root cells were examined in this study. There were four groups in which the bulbs germinated. Tap water was given to Group I (Control), whereas 18 µg/L of paracetamol, 36 µg/L of paracetamol, and 72 µg/L of paracetamol were given to Groups II, III, and IV. In glass beakers designated for each group, sterilized bulbs were allowed to germinate at room temperature. The roots were gathered and portions were ready for anatomical examination after a total of 72 hours. Root tips were cut into 1-cm-long sections, which were then stained with 5% methylene blue, seen under a 200x magnification microscope, and photographed. The control group's root and leaf tissues showed no deformation, whereas the paracetamol-treated groups showed dose-dependent morphological alterations. Anatomical damage such as epidermal cell damage, cortex cell damage, and flattened cell nuclei was identified. Mild deterioration was observed in epidermis and cortex cells at low doses (18 mg/L), while significant deformations in cell structure were detected at medium and high doses (36 and 72 mg/L). Epidermis and flattened nucleus were classified as severe (+++), while other deformations were rated as (++).

These findings indicate that paracetamol exposure causes widespread tissue damage in the root meristem tissues of *A. cepa*. The dose-dependent increase in changes indicates that PCM can seriously affect the morphological integrity of plant tissues. The study supports the use of the *A. cepa* model as a reliable model for evaluating the effects of environmental contaminants on anatomy.

Keywords: *Allium cepa*, root anatomy, paracetamol

Introduction

Pharmaceutical drugs and their residues are becoming widespread globally, posing a major threat to the environment. Toxic impacts on non-target flora and animals result from their excessive usage and disposal, which find their way into water bodies through drainage.

Paracetamol, available under various names (PCM/acetaminophen/N-acetyl-p aminophenol/tylenol/ panadol), is one of the most used nonsteroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) for the treatment of fever, headache, and body aches (Fatima et al., 2020).

It is well recognized that hospitals, pharmaceutical companies, and wastewater from homes and animals can all release paracetamol into the aquatic environment. It can either directly or indirectly enter river water after going through wastewater treatment facilities, and the sludge these facilities create is utilized as fertilizer in agricultural fields. Paracetamol also gets into the soil in this way (Fatima et al., 2020). However, the main compounds or metabolites of drugs can enter terrestrial and aquatic ecosystems via urine and feces after use, causing adverse effects (Annakkaya et al., 2025). These pollutants have a variety of biological consequences in aquatic and terrestrial environments, including endocrine disruption, growth and reproductive abnormalities, behavioral alterations, and antibiotic resistance, even at low concentrations (Arnold et al., 2014). Paracetamol can be hepatotoxic when taken in excessive doses or can cause necrosis and cell death by causing multiple toxic effects such as DNA and RNA damage and oxidation of membrane lipids. Therefore, similar detoxification mechanisms can be expected to be present in non-target organisms that are environmentally exposed to this substance (Nunes et al., 2014).

It is crucial to investigate the effects of pharmaceuticals on non-target organisms. Plants, one such organism, are primary producers that are exposed to these contaminants in soil and water. Pharmaceuticals such as paracetamol are being studied from a medical perspective, but information regarding the anatomical damage occurring in plant tissues is limited. It is important to investigate this stress and the response mechanisms to this stress due to the high exposure of non-target organisms such as plants to environmental pollutants. Among plant-based biological tests, the *Allium* test is widely used to investigate these toxic effects. *Allium cepa* is currently preferred for evaluating numerous chemical agents. *Allium cepa* is a low-cost test. It is also easy to process and has advantages over other short-term tests that require prior preparation of the samples being tested (Leme & Marin-Morales, 2009). To fully evaluate toxicity, anatomical studies in addition to genetic parameters provide a clearer understanding of toxicity and help to understand the structural defense mechanisms of plants.

The purpose of this study is to assess the possible harmful effects on the non-target indicator plant species *Allium cepa* in terms of anatomical parameters of paracetamol, a frequently used analgesic and antipyretic medication active ingredient. Thus, among the top concerns are drawing attention to the possible harm that paracetamol exposure in the environment may cause to plants and adding to the body of knowledge regarding its ecotoxicological effects.

Material and methods

Test material/chemical and dose preference

As experimental material, commercially available *A. cepa* L. onions (2n = 16) were procured from local markets in the Turkish region of Giresun. The test chemical was paracetamol (Merck CAS number: 103-90-2). The doses for *A. cepa* were mostly determined using Equation (1) provided by Bohrer et al., which differs from the dose used in human treatment. Doses of 18

µg/L for Group II, 36 µg/L for Group III, and 72 µg/L for Group IV were determined by the computations.

$$M_i = 10.000 \times M_c / 70.000.000 \quad \underline{\underline{(1)}}$$

M_i = Ideal amount of the drug (mg),

10.000 = Average weight of the bulb (mg),

M_c = Amount of one tablet (mg),

70.000.000 = Average weight of a woman (mg).

Experimental processes

Group I was given tap water as a control; Group II received 18 µg/L; Group III received 36 µg/L; and Group IV received 72 µg/L of paracetamol. After that, they were allowed to germinate at room temperature in glass beakers. The samples were ready for analysis, observation, and measurement using conventional techniques once the necessary amount of time had passed.

Anatomical alterations

After being chopped to a length of 1 cm, the root tips were cleaned with distilled water. Next, a razor blade was used to cut the roots, which had been encased in Styrofoam, crosswise in a single stroke. Under the appropriate research microscope (Irmeco IM-450 TI model), the sections were put on a slide, stained with 5% methylene blue for two minutes, covered with a coverslip, and photographed at 200x magnification (Kuloğlu et al., 2022).

Results and discussion

The anatomical changes occurring in *A. cepa* root tip meristem cells following paracetamol application are shown in Table 1 and Figure 1. In the control group, the epidermis, cortex, core structure, and nucleolus morphology appeared normal, with mononucleolar cells predominantly observed. In contrast, the severity of anatomical damage increased in a dose-dependent manner in the groups treated with paracetamol. An increase in epidermal cell damage (ECD), flattened nucleus (FN), thickening of the cortex cell wall (TCCW), and the number of bi-nucleolus cells (BNC) was observed from low to high doses.

Table 1. The Severity of Meristematic Cell Damage Induced by Paracetamol

Groups	ECD	FN	TCCW	BNC
Group I	-	-	-	-
Group II	+	+	+	+
Group III	++	++	+	+
Group IV	+++	+++	++	++

Group I: Control, Group II: 18 µg/L paracetamol, Group III: 36 µg/L paracetamol, Group IV: 72 µg/L paracetamol. ECD: epidermis cell damage, FN: flattened nucleus, TCCW: thickening of the cortex cell wall, BNC: binucleolate cell. (-): no damage, (+): minor damage, (++) moderate damage, (+++): severe damage.

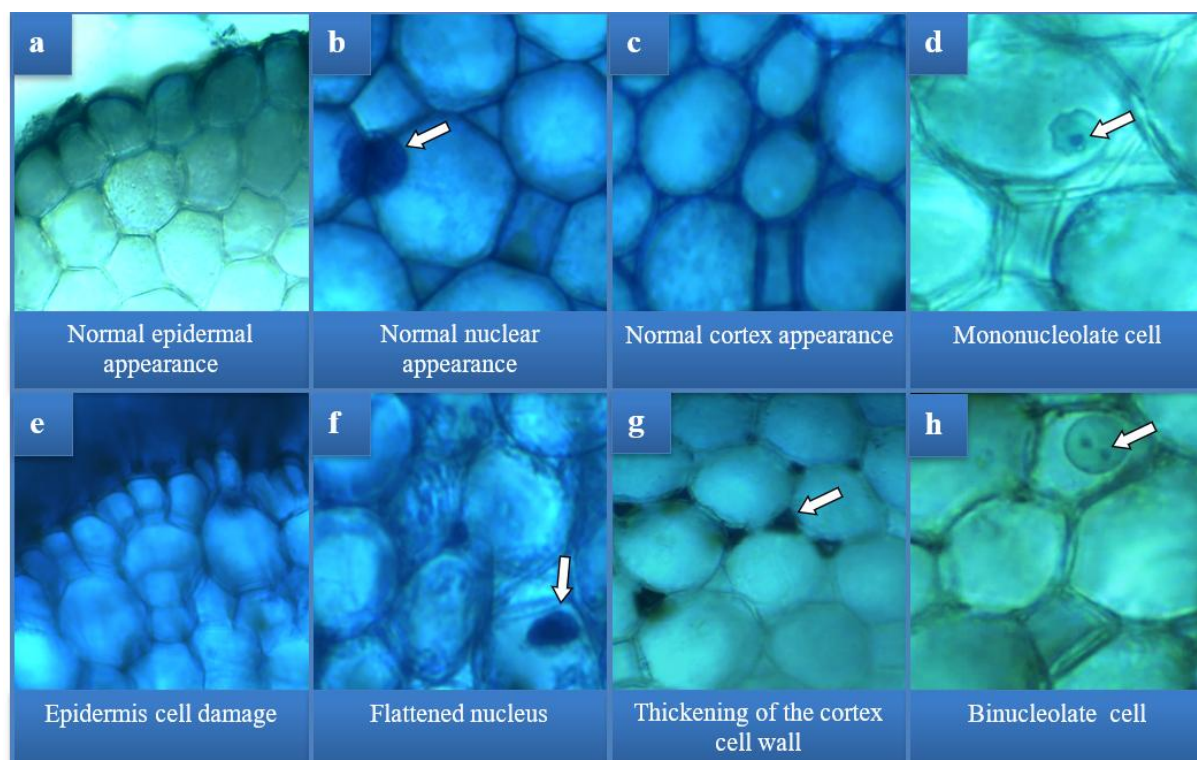


Figure 1. Anatomical Damages Caused by Paracetamol

It is known that pharmaceuticals such as paracetamol have a toxic effect on plants and trigger an oxidative stress response, particularly in root tissues. It has been reported that pharmaceuticals increase the production of reactive oxygen species (ROS) after being absorbed by plants, causing a great deal of damage (Gill & Tuteja, 2010). ROS cause lipid peroxidation, thereby disrupting tissue integrity. The epidermal cell damage observed in our data may be related to this condition. Similarly, epidermal damage and cellular abnormalities have been reported in *A. cepa* roots exposed to various pharmaceutical compounds (Leme & Marin-Morales, 2009).

DNA damage occurs in oxidative stress conditions such as ROS increase, and in addition to the disruption of chromosome structure, nuclear morphology may also change. Nuclear damage and nucleolar changes occurring in *A. cepa* roots indicate that genetic material may be affected as a result of paracetamol exposure (Leme & Marin-Morales, 2009).

Plants develop different defense responses in stressful situations. One of these is an increase in the accumulation of cell wall components, namely lignin and phenolic compounds. With this accumulation, the cell wall thickens and strives to prevent the uptake of toxic substances. In short, it creates a structural defense response. This results in a physical barrier (Gull et al., 2024). This study, which detected thickening of the cortex cell wall, may indicate a defense response against paracetamol.

As a result, it was determined that the application of three different doses of paracetamol to *A. cepa* roots caused toxicity in the root tissues in proportion to the increase in dose. One of these toxic effects is anatomically induced damage.

Paracetamol causes anatomically induced damage mediated by oxidative stress and that structural defense mechanisms occur in the plant against this.

Conclusion

In this study, the anatomical damage and its severity caused by three different doses of paracetamol in *A. cepa* roots were examined. Paracetamol exposure was observed to cause significant anatomical damage to the roots. Compared to the control group, the severity of damage increased in parallel with the increase in dose. In the groups treated with paracetamol, epidermal cell damage and flattened nuclei were most observed. In addition, thickening of the cortex cell wall and an increase in binucleated cells were observed. The dose-dependent increase in damage also indicates dose-dependent toxicity. According to the findings, pharmaceuticals such as paracetamol, which are released into the environment, can cause toxicity at the anatomical level in non-target organisms such as *A. cepa*. Taking the necessary precautions is valuable for all living things in the ecosystem.

References

- Annakkaya, N., Çavuşoğlu, K., Yalçın, E., & Özkan, B. (2025). Investigation of in-vivo and in-silico toxicity induced by environmental drug contamination in a non-target organism. *Scientific Reports*, 15(1), 21082. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-07417-4>
- Arnold, K. E., Brown, A. R., Ankley, G. T., & Sumpter, J. P. (2014). Medicating the environment: assessing risks of pharmaceuticals to wildlife and ecosystems. In (Vol. 369, pp. 20130569): The Royal Society.
- Fatima, S., Asif, N., Ahmad, R., & Fatma, T. (2020). Toxicity of NSAID drug (paracetamol) to nontarget organism-Nostoc muscorum. *Environ Sci Pollut Res Int*, 27(28), 35208-35216. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09802-0>
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem*, 48(12), 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Gull, S., Ali, M. M., Ejaz, S., Ali, S., Rasheed, M., Yousef, A. F., Stępień, P., & Chen, F. (2024). Comprehensive genomic exploration of class III peroxidase genes in guava unravels physiology, evolution, and postharvest storage responses. *Scientific Reports*, 14(1), 1446. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51961-4>
- Kuloğlu, S. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Acar, A. (2022). Dose-dependent toxicity profile and genotoxicity mechanism of lithium carbonate. *Scientific Reports*, 12(1), 13504.
- Leme, D. M., & Marin-Morales, M. A. (2009). Allium cepa test in environmental monitoring: A review on its application. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 682(1), 71-81. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>
- Nunes, B., Antunes, S. C., Santos, J., Martins, L., & Castro, B. B. (2014). Toxic potential of paracetamol to freshwater organisms: A headache to environmental regulators?

Ecotoxicology and Environmental Safety, 107, 178-185.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.05.027>

Anatomical Changes Induced by Moxifloxacin Exposure in *Allium cepa* Root Meristem Tissues

Assistant Professor Selin SİPAHİ KULOĞLU

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, selin.kuloglu@giresun.edu.tr-0000-0001-9560-0225

Assoc. Prof. Ali ACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, ali.acar@giresun.edu.tr- 0000-0001-8617-2206

Assoc. Prof. Oksal MACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, oksal.macar@giresun.edu.tr- 0000-0002-5067-8712

Assoc. Prof. Tuğçe KALEFETĞOLU MACAR

GİRESUN ÜNİVERSİTESİ, tugce.macar@giresun.edu.tr- 0000-0002-9946-8054

ABSTRACT

This study examined the anatomical alterations in *Allium cepa* roots brought on by the fluoroquinolone antibiotic moxifloxacin. Four groups of onions were employed in the study: three groups received varying amounts of moxifloxacin, while one group served as a control. The control group was given tap water, and the other groups were given doses of 15 µg/L, 29 µg/L, and 57 µg/L of moxifloxacin, respectively. After sterilization, the bulbs were germinated in glass beakers at room temperature. At the end of the application period (72 hours), the roots were collected and sections were prepared for anatomical examination by cutting them with a bistoury using clean Styrofoam. One-centimeter-long sections taken from the root tips were stained with 5% methylene blue and examined and photographed under a light microscope at 200x magnification. While the root tissues in the control group were observed to maintain their normal anatomical structure, dose-dependent anatomical deformations were detected in the groups treated with moxifloxacin. Mild structural damage was observed in the epidermis and cortex cells in the low-dose group, while damage such as disruption of cellular organization, deformations in cortex cells, and flattening of nuclei was observed in the medium- and high-dose groups. Epidermis damage and flattened nuclei were the most frequently observed damage types and were rated as severe (+++).

The findings indicate that exposure to moxifloxacin causes significant anatomical damage in the root meristem tissues of *A. cepa*. The increase in damage with increasing doses suggests that moxifloxacin may have potential toxic effects on plant tissues. The *A. cepa* model stands out as a suitable biotest for evaluating the anatomical effects of antibiotics on plant systems.

Keywords: *Allium cepa*, moxifloxacin, root anatomy

Introduction

Population growth and industrial development have led to an increase in the variety of environmental pollutants and the damage they cause to the environment. Among these

pollutants, pharmaceuticals and their residues, which are consumed in large quantities, play a significant role (Boxall et al., 2012). Pharmaceuticals, especially antibiotics, are widely used in medicine and veterinary medicine to treat many diseases (Kümmerer, 2009).

Some of these commonly used antibiotics cannot be fully metabolized in the body. They are excreted unchanged or as metabolites through urine and feces (Carvalho & Santos, 2016). These wastes can reach wastewater treatment plants through sewage systems. However, since antibiotic residues cannot be completely removed at these treatment plants, they reach aquatic environments along with the treated water (Verlicchi et al., 2012). These wastes negatively affect aquatic organisms, and at the same time, as these waters are used in agriculture, they are also transferred to the soil ecosystem. These antibiotics accumulate in the soil and can be absorbed by plants. In this way, they can enter the food chain and cause toxicity to non-target organisms (Pan et al., 2014).

Fluoroquinolones are a group of antibiotics that are frequently prescribed due to their potent pharmacokinetic properties (Van Bambeke et al., 2005). These compounds, which can inhibit bacterial DNA gyrase and topoisomerase IV enzymes, halt DNA replication. Furthermore, because they are highly resistant to biological degradation, their presence in the environment is inevitable (Picó & Andreu, 2007). Moxifloxacin (MOX), a fourth-generation member of the fluoroquinolone group, stands out for its increased efficacy against Gram-positive bacteria and anaerobes and is widely used in the treatment of respiratory tract infections. MOX, which is frequently used for therapeutic purposes and has high bioavailability, is also associated with serious side effects in literature. The main complications of moxifloxacin seen in humans include tendon rupture (tendinopathy), elevated liver enzymes, and cardiovascular risks such as QT interval prolongation (Ball, 2000). With a more advanced chemical structure, MOX is more resistant to bacterial resistance mechanisms. However, MOX also has increased environmental persistence and can reach plants and other living organisms through water entering agricultural areas. MOX, which can be transported to plant root zones, has the potential to cause toxic effects on plant anatomy and physiology (Balfour & Lamb, 2000).

A. cepa is favored over other bioassay methods for efficiently assessing toxicity investigations. The *A. cepa* test is a multifactorial model that makes it possible to assess how pollutants affect physiological, anatomical, biochemical, genotoxic, and cytotoxic alterations. This test program is simple, quick, and economical when compared to other test methods. One important metric for clearly illustrating the tissue-level harm brought on by hazardous chemicals is changes in root architecture (Kuloğlu et al., 2022).

In addition to MOX's potent pharmacological effects, it is extremely important to investigate the potential toxicity it may cause on non-target organisms such as plants if released uncontrollably into the environment. As the presence of broad-spectrum antibiotics such as MOX in aquatic and terrestrial ecosystems continues to increase, studies investigating the specific anatomical effects of these compounds on plant tissues remain limited. The aim of this study is to determine the anatomical damage caused by moxifloxacin, a commonly used antibiotic, in root tip cells of *A. cepa*. This study highlights the toxicity of this drug in non-

target organisms by determining the type and severity of anatomical damage occurring in roots exposed to three different doses of MOX.

Material and methods

Test material/chemical and dose preference

In this study, *A. cepa* bulbs (2n=16) obtained commercially from local markets in Giresun province were used. Ideally, healthy bulbs with comparable sizes were chosen. To examine its toxic effect, Moxifloxacin hydrochloride, Merck (CAS No: 186826-86-8) was obtained as the chemical material.

Equation (1), developed by Bohrer and colleagues, was used specifically to calculate the dose amount on *A. cepa*, unlike the standard dosages used in human treatments. Based on the calculations performed, the dose values were determined as 15 µg/L for Group II, 29 µg/L for Group III, and 57 µg/L for Group IV.

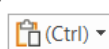
$$M_i = 10.000 \times M_c / 70.000.000 \quad \underline{\underline{(1)}}$$

M_i = Ideal amount of the drug (mg),

10.000 = Average weight of the bulb (mg),

M_c = Amount of one tablet (mg),

70.000.000 = Average weight of a woman (mg).



Experimental processes

In this study, *A. cepa* samples were examined by dividing them into four main groups. The grouping was established based on MOX concentrations as follows:

Group I (Control Group): A natural growth environment was provided using pure tap water.

Group II: Exposed to a MOX concentration of 15 µg/L

Group III: Exposed to a MOX concentration of 29 µg/L

Group IV: Exposed to a MOX concentration of 57 µg/L

<The grouped samples were left to germinate in a controlled manner at room temperature in glass beakers. After the incubation period specified for the experiment was completed, preparations for analysis were carried out using standard (traditional) methods for anatomical examination.

Anatomical alterations

During the analysis phase, root tips taken from each sample were cut to approximately 1 cm in length and carefully cleaned with distilled water. To facilitate sectioning, the roots were placed in styrofoam blocks and cut crosswise in a single stroke using a sharp razor blade.

These thin sections were placed on slides and stained with 5% methylene blue for 2 minutes to make the cellular structures visible. After staining, the samples were covered with coverslips

and prepared for examination. The prepared specimens were examined under a 200x magnification on an Irmeco IM-450 TI research microscope, and the data obtained were photographed and recorded.

Results and discussion

The anatomical damage caused by moxifloxacin applied in three separate doses to the root tips of *A. cepa* is presented in table 1 and figure 1. According to the data obtained, it was determined that the severity of damage increased with increasing dose. The most severe anatomical damage was detected in the epidermal cell damage (ECD) and flattened nucleus (FN), while the mildest anatomical damage was determined in thickening of the cortex cell wall (TCCW) and thickening of the conductive tissue (TCT).

Table 1. The Severity of Meristematic Cell Damage Induced by Moxifloxacin

Groups	ECD	FN	TCCW	TCT
Group I	-	-	-	-
Group II	+	+	+	+
Group III	++	++	+	+
Group IV	+++	+++	++	++

Group I: Control, Group II: 15 $\mu\text{g/L}$ moxifloxacin, Group III: 29 $\mu\text{g/L}$ moxifloxacin, Group IV: 57 $\mu\text{g/L}$ moxifloxacin. ECD: epidermis cell damage, FN: flattened nucleus, TCCW: thickening of the cortex cell wall, TCT: Thickening of the conductive tissue. (-): no damage, (+): little damage, (++) : moderate damage, (+++) : severe damage.

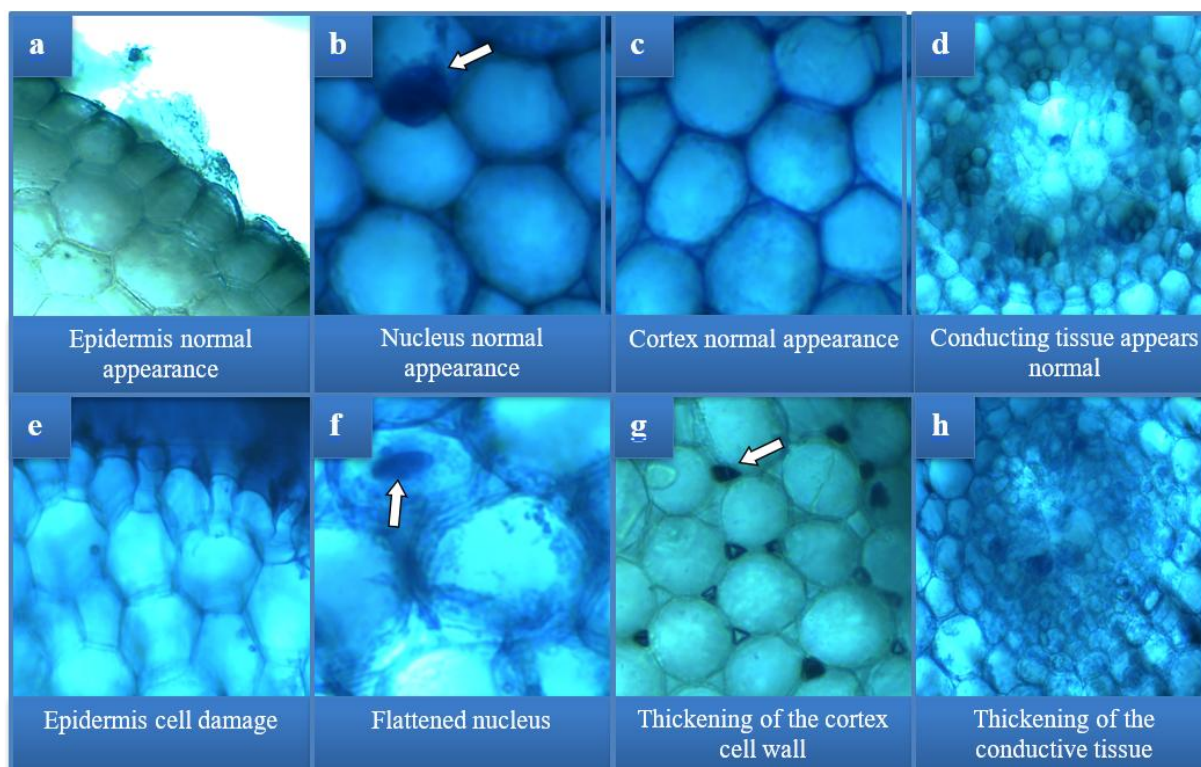


Figure 1. Anatomical Damages Caused by Moxifloxacin

Studies in the literature on anatomical damage caused by MOX are quite limited. However, since MOX is a member of the fluoroquinolone group, there are studies on anatomical damage conducted with other members of this group. These studies in literature are parallel to the results we obtained. Studies conducted with other members of the fluoroquinolone class, such as levofloxacin, enrofloxacin, and ciprofloxacin, have indicated that these antibiotics cause growth inhibition, physiological stress, and morphological changes in aquatic and terrestrial plants (Pauletto & De Liguoro, 2024). An increase in reactive oxygen species (ROS) generally plays a role in the occurrence of these effects. Increased ROS can cause lipid peroxidation in cell membranes, protein structure damage, and DNA damage. As a result, the integrity of epidermal cells may be compromised. It has previously been reported that epidermal and cortical cell damage in plant root tissues due to oxidative stress is associated with ROS (Gill & Tuteja, 2010).

Findings such as nuclear deformation (flattened nucleus) can be considered as indicators of genotoxic stress in addition to anatomical damage. ROS accumulation can damage nuclear DNA, leading to changes in nuclear morphology. Such changes have been detected in *A. cepa* root cells exposed to toxic agents (Leme & Marin-Morales, 2009). Under stress, plants may accumulate lignin and cellulose, leading to modifications such as thickening of the cell wall. This can cause tissue hardening. Thickening of the cortex cell wall and vascular tissue may be a defense response of plants to toxic stress (Passardi et al., 2004). The thickening of the cell wall observed in our findings may also be due to this defense response.

The anatomical damage caused by MOX in *A. cepa* root cells can be said to be consistent with the various damage caused by fluoroquinolone antibiotics in plants. According to our data, it is an undeniable fact that this antibiotic increases its toxic effects in *A. cepa* in a dose-dependent manner and that there is a need to investigate the toxic effects of drug residues.

Conclusion

The anatomical effects of MOX, a fluoroquinolone antibiotic that is often used, on the tissues of *A. cepa* root meristems were examined in this work. The results showed that MOX seriously harmed the tips of the roots. The most severe anatomical alterations are flattened nuclei and damage to epidermal cells. There has also been evidence of conduction tissue and cortical cell wall thickening. The dose-dependent toxic effect of MOX is demonstrated by the dose-dependent increase in the degree of anatomical damage. The identified core deformations may also serve as markers of genotoxic effects and cellular and anatomical stress. The plant's defense mechanisms may be connected to the thickening of its cell walls.

The results obtained show that if MOX residues are released into the environment, they can negatively affect plants, which are non-target organisms. More thorough research is needed to determine the environmental fate of pharmaceutical waste and its impact on plants, as it has been determined that the buildup of pharmaceutical waste in the environment endangers both aquatic life and agricultural ecosystems.

- Balfour, J. A. B., & Lamb, H. M. (2000). Moxifloxacin: a review of its clinical potential in the management of community-acquired respiratory tract infections. *Drugs*, 59(1), 115-139.
- Ball, P. (2000). Quinolone-induced QT interval prolongation: a not-so-unexpected class effect. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 45(5), 557-559.
- Boxall, A. B., Rudd, M. A., Brooks, B. W., Caldwell, D. J., Choi, K., Hickmann, S., Innes, E., Ostapyk, K., Staveley, J. P., Verslycke, T., Ankley, G. T., Beazley, K. F., Belanger, S. E., Berninger, J. P., Carriquiriborde, P., Coors, A., Deleo, P. C., Dyer, S. D., Ericson, J. F.,...Van Der Kraak, G. (2012). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: what are the big questions? *Environ Health Perspect*, 120(9), 1221-1229. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104477>
- Carvalho, I. T., & Santos, L. (2016). Antibiotics in the aquatic environments: a review of the European scenario. *Environment international*, 94, 736-757.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol Biochem*, 48(12), 909-930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Kuloğlu, S. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Acar, A. (2022). Dose-dependent toxicity profile and genotoxicity mechanism of lithium carbonate. *Scientific Reports*, 12(1), 13504. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17838-0>
- Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment—a review—part II. *Chemosphere*, 75(4), 435-441.
- Leme, D. M., & Marin-Morales, M. A. (2009). Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its application. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 682(1), 71-81.
- Pan, M., Wong, C. K. C., & Chu, L. M. (2014). Distribution of Antibiotics in Wastewater-Irrigated Soils and Their Accumulation in Vegetable Crops in the Pearl River Delta, Southern China. *Journal of agricultural and food chemistry*, 62(46), 11062-11069. <https://doi.org/10.1021/jf503850v>
- Passardi, F., Penel, C., & Dunand, C. (2004). Performing the paradoxical: how plant peroxidases modify the cell wall. *Trends in plant science*, 9(11), 534-540.
- Pauletto, M., & De Liguoro, M. (2024). A Review on Fluoroquinolones' Toxicity to Freshwater Organisms and a Risk Assessment. *Journal of Xenobiotics*, 14(2), 717-752.
- Picó, Y., & Andreu, V. (2007). Fluoroquinolones in soil—risks and challenges. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 387(4), 1287-1299.
- Van Bambeke, F., Michot, J. M., Van Eldere, J., & Tulkens, P. M. (2005). Quinolones in 2005: an update. *Clinical Microbiology and Infection*, 11(4), 256-280. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2005.01131.x>
- Verlicchi, P., Al Aukidy, M., & Zambello, E. (2012). Occurrence of pharmaceutical compounds in urban wastewater: Removal, mass load and environmental risk after a secondary treatment—A review. *Science of The Total Environment*, 429, 123-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.04.028>

GENOTOXIC EFFECTS OF ZINC AT ENVIRONMENTALLY SIGNIFICANT CONCENTRATIONS AND ANTHOCYANIN DEFENCE IN *ALLIUM CEPA* L.

Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR

Giresun Üniversitesi, tugce.macar@giresun.edu.tr-0000-0002-9946-8054

Assist. Prof. Dr. Selin SİPAHİ KULOĞLU

Giresun Üniversitesi, selin.kuloglu@giresun.edu.tr-0000-0001-9560-0225

Assoc. Prof. Dr. Oksal MACAR

Giresun Üniversitesi, oksal.macar@giresun.edu.tr-0000-0002-5067-8712

Assoc. Prof. Dr. Ali ACAR

Giresun Üniversitesi, ali.acar@giresun.edu.tr-0000-0001-8617-2206

ABSTRACT

Zinc (Zn) is among the pollutants entering the soil, particularly through human-induced industrial activities, municipal waste, as well as traffic, and irrigation activities linked to sewage waste. This study aimed to reveal the genotoxic effects of Zn, present at environmentally relevant levels in irrigation water, on *Allium cepa* L. root cells. When determining the experimental doses, the maximum Zn concentration (2 mg/L) recommended for long-term use in the FAO's irrigation water quality guidelines was used as a basis. These values, accepted as environmental reference doses, are defined as protective thresholds aimed at preventing the accumulation of trace elements in the soil over time and the associated long-term adverse effects. Therefore, to represent the increased pollution pressure that could occur if environmental limits are exceeded, higher doses (4 mg/L and 8 mg/L) were also included in the study. This approach allowed for a clearer assessment of the potential risks of increasing concentrations of zinc, an essential element, on genetic stability. Tap water without any treatment and without metal addition was used as the control group.

Genotoxic effects were evaluated through the mitotic index (MI), micronucleus (MN) formation, and chromosomal abnormalities (CAs). The findings showed that genetic damage was limited at zinc levels close to environmental threshold values, but that disruptions in cell division dynamics and damage to genetic integrity became apparent when these thresholds were exceeded. Treatment with Zn solutions resulted in a decrease in MI in *A. cepa* root cells, while the incidence of MN and CAs increased. In addition to genotoxicity in root cells, anthocyanin pigment changes in leaves were analyzed. The anthocyanin pigment level increased gradually at 4 mg/L and 8 mg/L Zn doses. In conclusion, the study showed that Zn contamination in water causes genetic damage in plant systems, and anthocyanin defense can be activated against this damage.

Keywords : *Allium cepa* L., zinc, genotoxicity, chromosomal aberrations, micronucleus.

ALLIUM CEPA L.'DE ÇEVRESEL AÇIDAN ANLAMLI DERİŞİMLERDE ÇİNKONUN GENOTOKSİK ETKİLERİ VE ANTOSİYANİN SAVUNMASI

ÖZET

Çinko (Zn), özellikle insan kaynaklı endüstriyel faaliyetler, belediye atıkları, trafik ve kanalizasyon atıklarıyla bağlantılı sulama faaliyetleri yoluyla toprağa giren kirleticiler arasındadır. Bu çalışmada, sulama suyunda çevresel açıdan anlamlı düzeylerde bulunan Zn'nin, *Allium cepa* L. kök hücrelerinde yol açtığı genotoksik etkilerin ortaya konulması amaçlanmıştır. DeneySEL dozlar belirlenirken, FAO'nun sulama suyu kalite kılavuzunda uzun süreli kullanım için önerilen maksimum Zn konsantrasyonu (2 mg/L) temel alınmıştır. Çevresel referans doz olarak kabul edilen bu değerler, iz elementlerin toprakta zamanla birikmesini ve buna bağlı uzun vadeli olumsuz etkileri önlemeyi amaçlayan koruyucu eşikler olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle çalışmada, çevresel sınırların aşılması durumunda ortaya çıkabilecek artan kirlenme baskısını temsil edebilmek amacıyla daha yüksek dozdaki uygulamalara (4 mg/L ve 8 mg/L) da yer verilmiştir. Bu yaklaşım, esansiyel bir element olan çinkonun artan derişimlerde genetik stabilite üzerindeki olası risklerinin daha net biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Herhangi bir işlem yapılmayan ve metal ilavesi içermeyen çeşme suyu, kontrol grubu olarak kullanılmıştır.

Genotoksik etkiler; mitotik indeks (MI), mikronükleus (MN) oluşumu ve kromozomal anormallikler (CA) üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, çevresel sınır değerlere yakın çinko düzeylerinde genetik hasarın sınırlı kaldığını, ancak bu sınırların aşılmasıyla birlikte hücre bölünme dinamiklerinde bozulmaların ve genetik bütünlükte hasarın belirginleştiğini göstermiştir. Zn çözeltileriyle muamele, *A. cepa* kök hücrelerinde MI'da azalmaya neden olurken, MN ve CA'ların görülme sıklığı artmıştır. Kök hücrelerindeki genotoksisiteye ek olarak, yapraklardaki antosiyanin pigment değışiklikleri de analiz edilmiştir. Antosiyanin pigment seviyesi 4 mg/L ve 8 mg/L Zn dozlarında kademeli olarak artmıştır. Sonuç olarak, çalışma sudaki Zn kontaminasyonunun bitki sistemlerinde genetik hasara neden olduğunu ve bu hasara karşı antosiyanin savunmasının etkinleştirilebileceğini göstermiştir. Sonuç olarak, çalışma sulama suyundaki çinko kirliliğinin bitkisel sistemlerde genetik düzeyde oluşturabileceği potansiyel risklere dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler : *Allium cepa* L., çinko, genotoksisite, kromozomal bozukluklar, mikronükleus.

INTRODUCTION

Natural geochemical processes cause significant levels of heavy metal release into the environment. Anthropogenic sources, primarily industrial activities, mining, traffic, domestic waste, and wastewater-based irrigation practices, increase the accumulation of heavy metals in both water and soil ecosystems. One of these metals, zinc (Zn), is an essential microelement for plants and animals, acting as a cofactor for many enzymes and playing a role in numerous metabolic activities, including antiimmunomodulatory and antioxidant functions (Dawood et al., 2022; Hawrysz et al., 2023). This element, which is vital for living organisms, also plays

important roles in many vital functions such as cell proliferation and differentiation, DNA metabolism, signal transmission, regulation of gene expression, and control of cell death (Schoofs et al., 2024). In plants, it is also important in growth and development as well as nutrient uptake, hormone regulation and photosynthetic processes (Gonmei et al., 2022). Additionally, Van and Nga (2024) reported that Zn is effective in the activation of enzymes involved in the biosynthesis of plant growth factors such as gibberellins and auxins, as well as chlorophyll pigment. This mineral, which is a cofactor for enzymes that contribute to the healthy and controlled functioning of the antioxidant defense system, also plays a major role in stabilizing membrane integrity (Marreiro et al., 2017). On the other hand, excessive uptake of Zn, which reaches high levels in the environment, causes significant physiological and biochemical stress in plants. Toxic effects associated with Zn include suppression of growth and development, decreased photosynthesis and respiration rates, increased reactive oxygen species (ROS) accumulation, and disruption of mineral balance (Kaur and Garg, 2021). Zinc contamination and accumulation in soil and other elements of the ecosystem can be related to the use of zinc-containing fertilizers, as well as arising from problems in waste disposal and various industries, including melting and mining (Long et al., 2021; Van and Nga (2024).

ROS accumulation-induced oxidative stress can lead to cellular abnormalities such as membrane damage, protein denaturation, and genetic damage, ultimately impairing the cell cycle and genetic integrity (Kalefetoğlu Macar, and Macar, O., 2024). Criteria reflecting the appearance of this damage in genetic tests include micronucleus (MN) accumulation and an increase in chromosomal abnormalities (CAs), as well as a decrease in the mitotic index (MI) (Sipahi Kuloğlu et al., 2022). Plants are equipped with numerous enzymatic and non-enzymatic defenses to cope with these stresses, and anthocyanins are prominent members of oxidative defense due to their strong antioxidant capacity and metal chelation abilities (Eghbaliferiz and Iranshahi, 2016). It has been demonstrated that these secondary metabolites, which are an important class of flavonoids, are also quite effective in preventing oxidative stress-related membrane lipid peroxidation and DNA single-strand breaks and in suppressing cytotoxicity (Lazze et al., 2003).

Allium cepa L. is widely used in studies related to ecotoxicology monitoring due to its various advantages, such as large chromosomes, rapid mitotic activity, and consistent results with toxicity studies in mammals (Camilo-Cotrim et al., 2022). The fact that it is a eukaryotic organism that does not require ethical approval is another important advantage that makes *A. cepa* stand out in pollution studies.

This study evaluated the potential genotoxicity that Zn may induce in living organisms when environmental threshold values are exceeded and whether anthocyanin protection activates against this stress using the *A. cepa* model organism.

MATERIALS AND METHOD

Preliminary preparation of materials and experimental setup

A. cepa bulbs purchased from the Güre district of Giresun underwent preliminary preparation processes in the laboratory. First, the dust, outer leaves, and dried old adventitious roots were removed from the bulbs. The first group, control, treated with tap water (Table 1). The other three groups were exposed to 2 mg/L ZnCl₂, 4 mg/L ZnCl₂ and 8 mg/L ZnCl₂. Solutions refreshed every day to protect concentrations during the 3-day application period.

When determining the experimental doses, the maximum Zn concentration recommended for long-term use in the FAO's irrigation water quality guidelines was used as a basis. These values, accepted as environmental reference doses, are defined as protective thresholds aimed at preventing the accumulation of trace elements in the soil over time and the associated long-term adverse effects.

Table 1. Control and experimental groups exposed to tap water and ZnCl₂ solutions.

Groups	Treatments
Control	Tap water
Zn 2	2 mg/L ZnCl ₂
Zn 4	4 mg/L ZnCl ₂
Zn 8	8 mg/L ZnCl ₂

Genotoxicity analyses

The frequencies of MN and CAs were determined using the method proposed by Staykova et al. (2005). The harvested 1.5 cm long adventitious roots were fixed in Clarke's fixator. Then, they hydrolyzed in HCl and stained in acetocarmine, respectively. Ten slides (n = 10) were prepared using squash preparation technique for every group. 10,000 cells were screened for MI and 1000 cells for MN and CAs frequencies. Microscopic examination was performed at 500 magnification.

MI was obtained by dividing the number of cells in the mitotic phase by the total number of cells counted. When scoring MN, care was taken to ensure that MN was completely separated from the cell nucleus and stained at the same rate as the cell nucleus, so as not to be confused with formations such as nuclear buds (Fenech et al., 2003).

Anthocyanin content analysis

The anthocyanin content was determined according to the method described by Mancinelli et al. (1975). Bulbs whose roots were not harvested for new shoot elongation were kept in the relevant solutions for a total of 7 days. At the end of the period, fresh plant tissues were homogenized in methanol acidified with HCl. After a 1-week dark incubation period in the refrigerator, the absorbance of the supernatant from the centrifuged homogenates was measured spectrophotometrically at a wavelength of 530 nm.

Statistical analysis

All data were statistically analyzed through One-way ANOVA and Duncan Tests (SPSS 22). Table presentations are based on mean and standard deviation. p values were regarded as statistically significant if they were less than 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

Treatment with 2 mg/L ZnCl₂ did not cause any statistically significant changes in MI, MN, and CAs values in *A. cepa* root meristem cells ($p > 0.05$) (Table 2). On the other hand, 4 mg/L and 8 mg/L ZnCl₂ treatments resulted in a decline in MI and an increase in MN and CAs abundance compared to the control group. This pattern was dose dependent. The mean MI in the control group was 882 ± 8.74 , while in the Zn 4 and Zn 8 groups it was 798.33 ± 2.08 and 759 ± 7.934 , respectively (Table 2). The differences between the means were significant ($p < 0.05$). The MN values in the Zn 4 and Zn 8 groups were 13.33 ± 1.15 and 20.67 ± 2.08 , respectively, and both means were significantly higher than that of the control group. The CA types observed in the Zn 4 and Zn 8 groups were sticky chromosome, fragment, bridge, vagrant chromosome and unequal distribution of chromatin (Table 2 and Figure 1). MI is a pivotal parameter that facilitates the measurement of mitotic activity in organisms and the degree of cell proliferation. It also reflects the cytotoxicity of chemicals (Petrescu et al., 2020). Therefore, higher doses of zinc (4 mg/L and 8 mg/L) were cytotoxic and suppressed the mitosis of root cells. A reduction in the cell proliferation may be arisen from damage in spindle apparatus, cell cycle dysfunction, genetic damage, or oxidative stress. In line with our results, Abubacker and Sathya (2017) also previously reported that Zn has genotoxic potential in *A. cepa* and triggers the formation of CAs. Additionally, zinc oxide nanoparticles have previously been shown to reduce MI more significantly in *A. cepa* with increasing application doses (Kumari et al., 2011).

MN, an early indicator for carcinogenesis, reflects the chromosomal instability and DNA damage cells. It may contain chromosome fragments or entire chromosomes that could not become part of the structure of the cell nucleus (Üstündağ et al., 2023). The presence of vagrant and fragment chromosomes generally results in MN formation. Sticky chromosomes generally cause cell death and are an irreversible defect indicating serious DNA damage (Yılmaz et al., 2023). Bridge, on the other hand, is associated either with sticky chromosomes failing to separate or breaking off and reattaching during anaphase (Sabeen et al., 2020). The vagrant and unequal distribution of chromatids generally indicates the presence of spindle poison in the surrounding environment (Üstündağ et al., 2023). According to the findings of this study, as the concentration of Zn applied to *A. cepa* root meristem cells increases, it appears that the spindle fibers deteriorate, chromosome separation errors occur, and the cell division process is disrupted. This may be related to oxidative stress triggered by high Zn concentrations directly or indirectly damaging DNA integrity or other elements of mitotic division.

Table 2. MI, MN and CAs levels following ZnCl₂ treatments.

CA's	Control	Zn 2	Zn 4	Zn 8
Mitotic Index	882±8.74a	880±7.02a	798.33±2.08b	759±7.934c
Micronucleus	0.20±0.02c	0.21±0.01c	13.33±1.15a	20.67±2.08a
Sticky Chromosome	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	10.67 ± 0.58b	17.67 ± 1.15a
Fragment	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	7.67 ± 1.15b	13.67± 1.53a
Bridge	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	5.33 ± 0.58b	9.67±0.58a
Vagrant Chromosome	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	4.33 ± 0.583b	7.67 ± 1.15a
Unequal Distribution of Chromatin	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	3.67± 0.47b	4.67 ± 0.58a

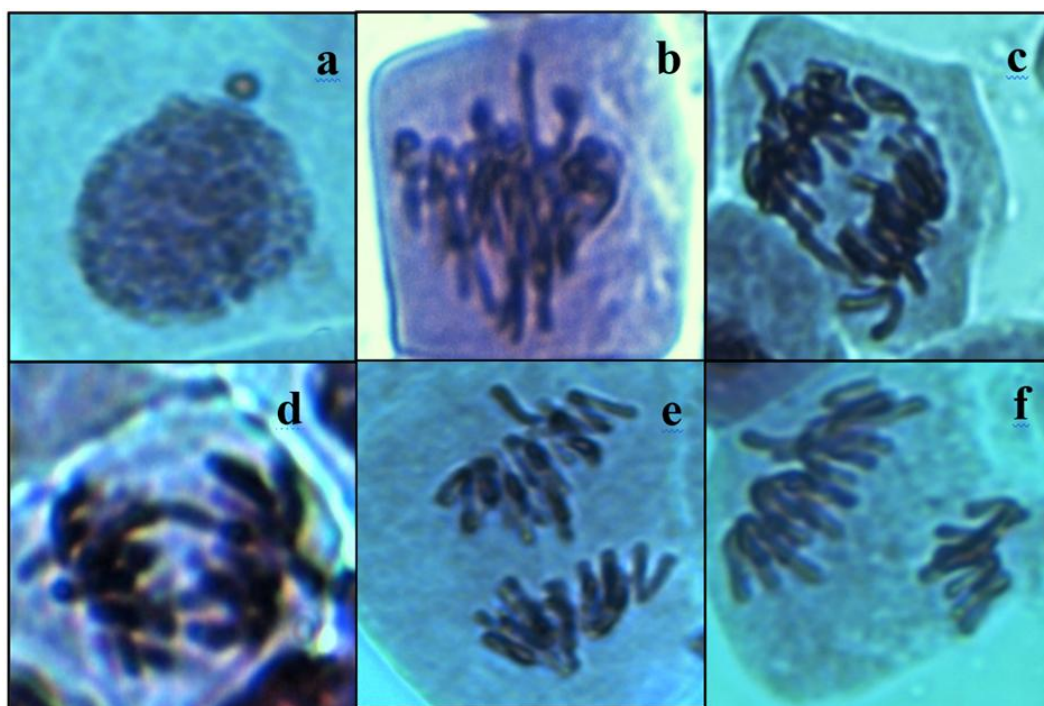


Figure 1. ZnCl₂-induces CAs in *A. cepa* root cells. MN (a), sticky chromosome (b), fragment (c), bridge (d), vagrant (e), unequal distribution of chromatin (f).

It was observed that 2 mg/L ZnCl₂ did not stimulate anthocyanin accumulation in *A. cepa* shoots (Figure 2). However, anthocyanin content increased significantly in both the 4 mg/L and 8 mg/L ZnCl₂ groups compared to the control group. This increase was more pronounced in the Zn 8 group than in the Zn 4 group. Thus, Zn taken up through the roots could exert its effect not only in the root region but also in the upper parts of the plant. Therefore, the application of ZnCl₂ higher doses triggered a systemic stress in the plant. The study findings showed that the increase in anthocyanin is one of the plant's adaptive responses to heavy metal-induced genotoxicity. Studies showing an increase in anthocyanin synthesis in plants under heavy metal stress

consistent with our results are available in the literature (Sun et al., 2023). Anthocyanins, an important component of the phenolic richness of many plants, can increase the activity of antioxidant enzymes in addition to their metal chelation properties and can reduce membrane damage by suppressing lipid peroxidation. These water-soluble pigments can also reduce oxidative stress by directly scavenging various radicals (Ahmed et al., 2013; Geng et al., 2020).

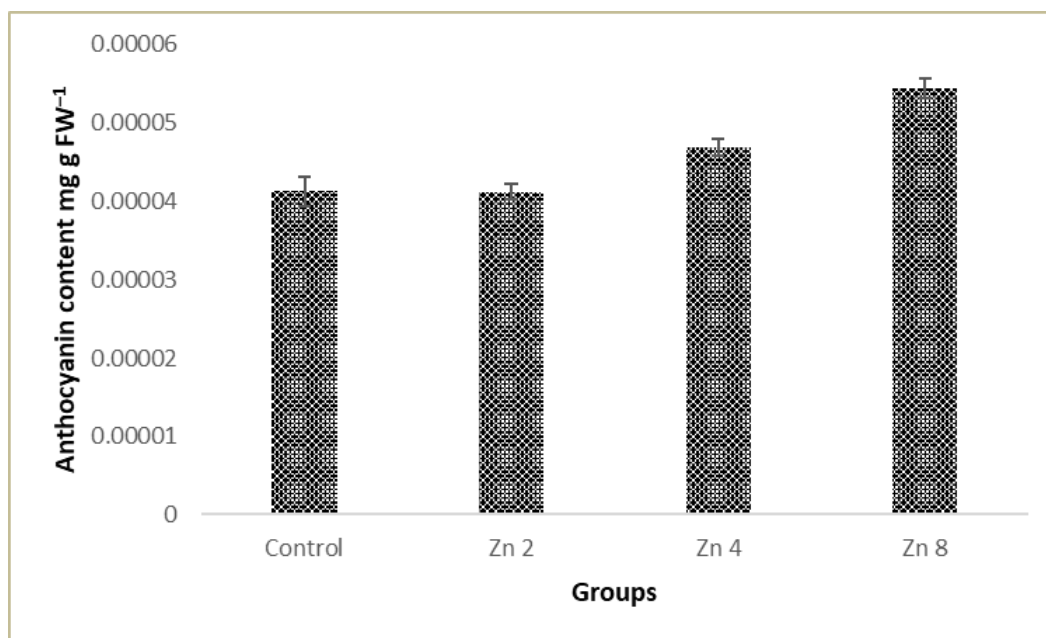


Figure 2. Anthocyanin response to ZnC₂ treatments.

CONCLUSION

This study has demonstrated that Zn, an essential element, has genotoxic potential when exposure levels exceed environmental limits. The simultaneous increase in anthocyanin levels with the emergence of genetic disorders indicates that this pigment is a key component of the responses activated to maintain cellular balance under heavy metal stress. The fact that the *A. cepa* test shows high correlation with mammalian genotoxicity tests in the literature suggests that Zn may be risky not only for plants but also for other organisms. Therefore, it is recommended that Zn be considered as one of the priority pollutants in environmental risk assessment programs and that its potential risks be investigated using more detailed parameters.

REFERENCES

- Abubacker, M. N., & Sathya, C. J. B. B. R. A. (2017). Genotoxic effect of heavy metals Cr, Cu, Pb and Zn using *Allium cepa* L. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(3), 1181-1186.
- Ahmed, J. K., Salih, H. A., & Hadi, A. G. (2013). Anthocyanins in red beet juice act as scavengers for heavy metals ions such as lead and cadmium. *International Journal of Science and Technology*, 2(3), 269-273.

- Camilo-Cotrim, C. F., Bailão, E. F. L. C., Ondeí, L. S., Carneiro, F. M., & Almeida, L. M. (2022). What can the *Allium cepa* test say about pesticide safety? A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(32), 48088-48104.
- Dawood, M. A., Alagawany, M., & Sewilam, H. (2022). The role of zinc microelement in aquaculture: a review. *Biological Trace Element Research*, 200(8), 3841-3853.
- Eghbaliferiz, S., & Iranshahi, M. (2016). Prooxidant activity of polyphenols, flavonoids, anthocyanins and carotenoids: updated review of mechanisms and catalyzing metals. *Phytotherapy Research*, 30(9), 1379-1391.
- Fenech, M., Chang, W. P., Kirsch-Volders, M., Holland, N., Bonassi, S., & Zeiger, E. (2003). HUMN project: detailed description of the scoring criteria for the cytokinesis-block micronucleus assay using isolated human lymphocyte cultures. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 65-75.
- Geng, A. J., Wang, X., Li, Q. J., Yang, H., Chen, Y., Liu, W. W., Chen, Y. Z., & Wang, F. H. (2020). Mechanism of anthocyanins-mediated resistance to heavy metals stresses in plants: a review. *Journal of Southern Agriculture*, 51, 80-90.
- Gonmei, G., Deb, P., Kumar, P., Sinha, D., & Halder, A. (2022). Zinc nutrition in banana (cv. Grand Naine) at early growth stage. *International Journal of Plant & Soil Science*, 34(22), 1648-1654.
- Hawrysz, Z., & Woźniacka, A. (2023). Zinc: an undervalued microelement in research and treatment. *Advances in Dermatology and Allergology/Postępy Dermatologii i Alergologii*, 40(2), 208-214.
- Kalefetoğlu Macar, T., & Macar, O. (2024). A study on the effect of *Hypericum perforatum* L. extract on vanadium toxicity in *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 14(1), 28486.
- Kaur, H., & Garg, N. (2021). Zinc toxicity in plants: a review. *Planta*, 253(6), 129.
- Kuloğlu, S. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Acar, A. (2022). Dose-dependent toxicity profile and genotoxicity mechanism of lithium carbonate. *Scientific Reports*, 12(1), 13504.
- Kumari, M., Khan, S. S., Pakrashi, S., Mukherjee, A., & Chandrasekaran, N. (2011). Cytogenetic and genotoxic effects of zinc oxide nanoparticles on root cells of *Allium cepa*. *Journal of Hazardous Materials*, 190(1-3), 613-621.
- Lazze, M. C., Pizzala, R., Savio, M., Stivala, L. A., Prosperi, E., & Bianchi, L. (2003). Anthocyanins protect against DNA damage induced by tert-butyl-hydroperoxide in rat smooth muscle and hepatoma cells. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 535(1), 103-115.

- Long, Z., Huang, Y., Zhang, W., Shi, Z., Yu, D., Chen, Y., Liu, C., & Wang, R. (2021). Effect of different industrial activities on soil heavy metal pollution, ecological risk, and health risk. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 20.
- Mancinelli, A. L., Yang, C. P. H., Lindquist, P., Anderson, O. R., & Rabino, I. (1975). Photocontrol of anthocyanin synthesis: III. The action of streptomycin on the synthesis of chlorophyll and anthocyanin. *Plant Physiology*, 55(2), 251-257.
- Marreiro, D. D. N., Cruz, K. J. C., Morais, J. B. S., Beserra, J. B., Severo, J. S., & De Oliveira, A. R. S. (2017). Zinc and oxidative stress: current mechanisms. *Antioxidants*, 6(2), 24.
- Petrescu, I., Sarac, I., Bonciu, E., Madosa, E., Rosculete, C. A., & Butnariu, M. (2020). Study regarding the cytotoxic potential of cadmium and zinc in meristematic tissues of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Caryologia*, 73(1), 1-78.
- Sabeen, M., Mahmood, Q., Bhatti, Z. A., Irshad, M., Bilal, M., Hayat, M. T., Irshad, U., Akbar, T. A., Arslan, M., & Shahid, N. (2020). *Allium cepa* assay based comparative study of selected vegetables and the chromosomal aberrations due to heavy metal accumulation. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1368-1374.
- Schoofs, H., Schmit, J., & Rink, L. (2024). Zinc toxicity: understanding the limits. *Molecules*, 29(13), 3130.
- Staykova, T. A., Ivanova, E. N., & Velcheva, I. G. (2005) Cytogenetic effect of heavy metal and cyanide in contaminated waters from the region of southwest Bulgaria. *Journal of Cellular and Molecular Biology*, 4(1), 41-46.
- Sun, S., Liu, A., Li, Z., Guo, T., Chen, S., & Ahammed, G. J. (2023). Anthocyanin synthesis is critical for melatonin-induced chromium stress tolerance in tomato. *Journal of Hazardous Materials*, 453, 131456.
- Üstündağ, Ü., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., & Çavuşoğlu, K. (2023). Effect of *Melissa officinalis* L. leaf extract on manganese-induced cyto-genotoxicity on *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 13(1), 22110.
- Van, H. T., & Nga, L. T. Q. (2024). Effects of Zn pollution on soil: Pollution sources, impacts and solutions. *Results in Surfaces and Interfaces*, 17, 100360.
- Yılmaz, H., Kalefetoğlu Macar, T., Macar, O., Çavuşoğlu, K., & Yalçın, E. (2023). DNA fragmentation, chromosomal aberrations, and multi-toxic effects induced by nickel and the modulation of Ni-induced damage by pomegranate seed extract in *Allium cepa* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(51), 110826-110840.

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF *ALLIUM CEPA* L. TO LEAD EXPOSURE AND CHANGES IN ANTHOCYANIN CONTENT

Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR

Giresun Üniversitesi, tugce.macar@giresun.edu.tr-0000-0002-9946-8054

Assist. Prof. Dr. Selin SİPAHİ KULOĞLU

Giresun Üniversitesi, selin.kuloglu@giresun.edu.tr-0000-0001-9560-0225

Assoc. Prof. Dr. Ali ACAR

Giresun Üniversitesi, ali.acar@giresun.edu.tr-0000-0001-8617-2206

Assoc. Prof. Dr. Oksal MACAR

Giresun Üniversitesi, oksal.macar@giresun.edu.tr-0000-0002-5067-8712

ABSTRACT

Lead (Pb) is a toxic element that has no physiological function in biological systems and is notable for its persistence in the environment and potential for bioaccumulation. Mining, fossil fuel use, traffic emissions, and industrial waste increase the spread of this element into the environment, and Pb can easily be transported into plant systems via water and soil. This study was designed to evaluate the physiological effects of Pb, a common environmental pollutant in water sources, on *Allium cepa* L. Three different concentrations (5 µg/L, 10 µg/L ve 20 µg/L) were selected as experimental concentrations. To predict the long-term physiological effects of elements that tend to accumulate and remain elevated in soil, such as lead, on plant growth and development, the study included high dose applications. The control group was treated with tap water during the three-day application period. The experiments were conducted in a dark, room-temperature laboratory.

At the end of the application period, rooting percentage, root length, and overall biomass increase were considered as key parameters in physiological assessments. The findings showed that lead can suppress root development, reduce root elongation, and negatively affect biomass increase even at concentrations close to environmental threshold values. More pronounced declines in growth parameters were observed with increasing doses. In addition to growth-related physiological parameters, anthocyanin content was investigated in newly developing leaves. Anthocyanin levels gradually increased in response to 5 µg/L and 10 µg/L Pb application, while 20 µg/L Pb application resulted in a partial decrease in anthocyanin levels. The findings reveal that lead exposure can affect fundamental physiological processes and anthocyanin level in plants even at environmentally relevant concentrations.

Keywords : *Allium cepa* L., biomass, growth, lead, root elongation.

KURŞUN MARUZİYETİNE KARŞI *ALLIUM CEPA* L.'NİN FİZYOLOJİK TEPKİLERİ VE ANTOSİYANİN İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİKLİKLER

ÖZET

Kurşun (Pb), biyolojik sistemlerde fizyolojik işlevi olmayan toksik bir elementtir ve çevrede kalıcılığı ve biyolojik birikim potansiyeli ile dikkat çeker. Madencilik, fosil yakıt kullanımı, trafik emisyonları ve endüstriyel atıklar, bu elementin çevreye yayılmasını artırmakta ve Pb, su ve toprak yoluyla bitki sistemlerine kolayca taşınabilmektedir. Bu çalışma, su kaynaklarında yaygın bir çevre kirleticisi olan Pb'nin *Allium cepa* L. üzerindeki fizyolojik etkilerini değerlendirmek için tasarlanmıştır. Deney konsantrasyonları olarak üç farklı konsantrasyon (5 µg/L, 10 µg/L ve 20 µg/L) seçilmiştir. Kurşun gibi toprakta birikme ve yüksek seviyede kalma eğilimi gösteren elementlerin bitki büyümesi ve gelişimi üzerindeki uzun vadeli fizyolojik etkilerini tahmin etmek için, çalışma yüksek doz uygulamalarını da içermektedir. Kontrol grubu, üç günlük uygulama süresi boyunca musluk suyu ile muamele edilmiştir. Deneyler karanlık, oda sıcaklığında bir laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Uygulama süresinin sonunda, köklenme yüzdesi, kök uzunluğu ve genel biyokütle artışı fizyolojik değerlendirmelerde anahtar parametreler olarak kabul edildi. Bulgular, kurşunun kök gelişimini baskılayabileceğini, kök uzamasını azaltabileceğini ve çevresel eşik değerlerine yakın konsantrasyonlarda bile biyokütle artışı olumsuz etkileyebileceğini gösterdi. Dozların artmasıyla büyüme parametrelerinde daha belirgin düşüşler gözlemlendi. Büyüme ile ilişkili fizyolojik parametrelere ek olarak yeni gelişen yapraklarda antosiyanin içeriği araştırıldı. 5 µg/L ve 10 µg/L Pb uygulamasına tepki olarak antosiyanin seviyeleri kademeli olarak artarken, 20 µg/L Pb uygulaması antosiyanin seviyesinin kısmen düşmesi ile sonuçlandı. Bulgular, kurşun maruziyetinin çevresel olarak ilgili konsantrasyonlarda bile bitkilerdeki temel fizyolojik süreçleri ve antosiyanin seviyesini etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : *Allium cepa* L., biyokütle, büyüme, kurşun, kök uzaması.

INTRODUCTION

Heavy metals are a significant source of pollution for both terrestrial and aquatic ecosystems due to their potential to cause serious damage even at very low concentrations, their high bioaccumulation potential, and their inability to be biologically degraded (Kapahi and Sachdeva, 2019). Lead (Pb), a transportable and persistent element, is the main toxic heavy metal that pollutes ecosystems (Mitra et al., 2017). Pb's physicochemical properties, such as being a poor conductor, soft, corrosion-resistant, malleable, and ductile, have led to its widespread use. However, its biologically inert nature and inability to be broken down by living organisms increase the risks associated with Pb (Ara and Usmani, 2015). Lead pollution accounts for approximately 10% of heavy metal-related environmental pollution, with construction, lead batteries, paints, cable coatings, and petrochemical refineries ranking among the major sources of Pb (Collin et al., 2022). This potential contaminant chemical, which can accumulate at high levels in soil and sediments, can also be easily absorbed by plants from the soil and accumulate in various parts of the plant. Kumar et al. (2017) reported that the

transported Pb from the growth medium mostly accumulates in the root cells. The distribution of Pb in the root varies depending on whether the dose is lethal or not. Pb at lower concentrations generally remains in the apoplast, but as the dose increases, the plasma membrane barrier is damaged and Pb uptake into the cell increases (Sharma and Dubey, 2005). Although Pb is not an essential element for plants, it causes visible changes in plants such as chlorosis, stunted growth, and darkening of the root system at high concentrations following an uptake process regulated by factors such as the pH of the environment, the cation exchange capacity of the soil, particle size, and root exudates. Pb toxicity also causes changes in membrane integrity and permeability, water and mineral imbalances, disruption of hormonal status, and suppression of photosynthesis (Sharma and Dubey, 2005; Generalova et al., 2025).

Although exposure to heavy metals such as Pb causes various disorders, including stunted growth, this stress factor also activates the defense systems in plants (Mohamed et al., 2025). An increase in the synthesis of secondary metabolites is one of these protective mechanisms. Anthocyanins, one of the phenolic compounds among secondary metabolites and used as reliable colorants in the food industry, not only give color to vegetative organs, flowers, and fruits in plants but also act as effective antioxidants (Sadowska-Bartosz and Bartosz, 2024). Under stress conditions where photosynthesis slows down, anthocyanins also function as barriers that protect chlorophyll pigment from excessive light (Gaion et al., 2025). Anthocyanins function in plants' defense strategy against oxidative damage caused by heavy metals, binding metal ions like phytochelatins or scavenging reactive oxygen species (ROS) (Ahammed and Yang, 2022).

Allium cepa L. bulbs are important bioindicators for monitoring chemical-induced toxicity due to reasons such as their rapid rooting times and the fact that they allow for the observation of visible morphological changes (Sipahi Kuloğlu et al., 2024). Indeed, monitoring the early effects of pollutants through bioindicator organisms provides an important basis for taking precautions in this area.

This study was designed to evaluate the toxicity of Pb at levels close to and higher than environmental values using *A. cepa*, given that Pb should be prioritized in risk assessment studies due to its environmental persistence, abundance on Earth, and toxicity to living organisms. For this purpose, growth parameters such as rooting percentage, root length, and biomass increase in bulbs exposed to different concentrations of Pb, as well as anthocyanin accumulation in green parts, were investigated.

MATERIALS AND METHODS

Experimental setup and analyses of growth parameters

The bulbs were purchased from a market in Giresun, then washed, dried, and sorted by size in the laboratory. The weight of the bulbs was measured and recorded as the first weight (g). Groups formed with bulbs (n =50) were treated for 3 days in the dark with tap water (control group), 5 µg/L, 10 µg/L, and 20 µg/L PbNO₃ (experimental groups), respectively (Table 1). Bulbs that produced adventitious roots emerging from the disk body and reaching a minimum

length of 1.5 cm were considered “rooted” for the calculation of the rooting percentage. At the end of the 3-day exposure period, the bulbs were dried and reweighed, and this weight was recorded as the final weight. The difference between the two weights was calculated as the biomass increase ($n = 10$). After measuring the length of randomly selected roots from each bulb with a ruler, the average root length for each group was calculated ($n = 10$).

Table 1. Control and experimental groups exposed to tap water and PbNO₃ solutions.

Groups	Treatments
Control	Tap water
Pb 5	5 µg/L PbNO ₃
Pb 10	10 µg/L PbNO ₃
Pb 20	20 µg/L PbNO ₃

Determination of anthocyanin content

The anthocyanin levels of the groups was analyzed according to the method of Mancinelli et al. (1975). At the end of the 3-day chemical treatment period during which growth measurements were made, the bulbs were treated with chemicals for an additional 4 days for the formation of the green parts for anthocyanin analysis. In order to dissolve the pigments, green shoots were transferred into hydrochloric acid, methanol and distilled water mixture. The pigments were allowed to dissolve for a week. Finally, the absorbance of the supernatant from the centrifuged homogenates was measured spectrophotometrically at a wavelength of 530 nm.

Statistical analysis

All data were statistically analyzed through One-way ANOVA and Duncan Tests (SPSS 22). p values were regarded as statistically significant if they were less than 0.05.

RESULTS AND DISCUSSION

At the end of the treatment period, at which the control group showed 100% rooting, Pb exposure caused a decrease in rooting starting from a concentration of 5 µg/L (Figure 1). On the other hand, the rooting percentages in the Pb 5, Pb 10, and Pb 20 groups were determined to be 84%, 78%, and 64%, respectively. Furthermore, Pb application gradually and significantly ($p < 0.05$) decreased root elongation with increasing doses. The root lengths of the Pb 5, Pb 10, and Pb 20 groups decreased by approximately 14.1%, 43.2%, and 51.9%, respectively, compared to the control group. In addition, as the application dose of Pb increased, the biomass increase of the experimental groups decreased. The biomass increase of the Pb 5, Pb 10, and Pb 20 groups decreased by approximately 34.3%, 50.4%, and 61.2%, respectively, in comparison to the control group (Figure 1).

There are many studies showing that heavy metals restrict growth in *A. cepa* (Üstündağ et al., 2023; Yılmaz et al., 2023; Kalefetoğlu Macar and Macar, 2024). In addition Sharma and Dubey (2005) reported that 500 µM and 1000 µM Pb(NO₃)₂ exposure significantly reduced root and shoot growth in *Oryza sativa* L. seedlings. In another study, Pb treatment remarkably decreased the seed germination, plumule and radicle elongation and dry mass in maize genotypes (Ahmad

et al., 2011). Dalyan et al. (2019) suggested that growth stunt under Pb stress may be due to several factors, including limitations in cell division and cell elongation processes, disorders in water and nutrient uptake and perturbations in photosynthesis. Other possible causes of growth inhibition may include inhibition of the uptake of nutrients such as potassium, calcium, and magnesium as a result of disruption of ion homeostasis due to heavy metals or ROS formation denaturing proteins and enzymes, damaging membranes, disrupting the integrity of DNA, or disrupting cell division processes.

The anthocyanin increase in Pb-exposed *A. cepa* shoots exhibited a different behaviour from the dose-dependent gradual growth pattern. Depending on the 5 µg/L Pb application, anthocyanin content increased compared to the control group and reached the maximum level in the group exposed to 10 µg/L Pb (Figure 1). The anthocyanin content of the Pb 10 group was approximately 1.78 times that of the control group. However, it was observed that the anthocyanin level in Pb 20 group decreased to the level of Pb 5 group. Our findings were in agreement with many studies in the literature showing that anthocyanins are actively involved in the response to heavy metal toxicity (Glińska et al., 2007; Ahmed et al., 2013; Ai et al., 2025). A decline in the anthocyanin content of the Pb 20 group suggested that the balance between the severity of Pb stress and the anthocyanin-based defense system was disturbed. However, in groups exposed to lower doses of Pb, the phenylpropanoid pathway may have been triggered and anthocyanin synthesis may have increased due to ROS formation (Buitrago et al., 2025). The fact that both growth and anthocyanin content were restricted more in the Pb 20 group compared to the other groups may indicate that the threshold value that can be combated with toxicity was exceeded in this group.

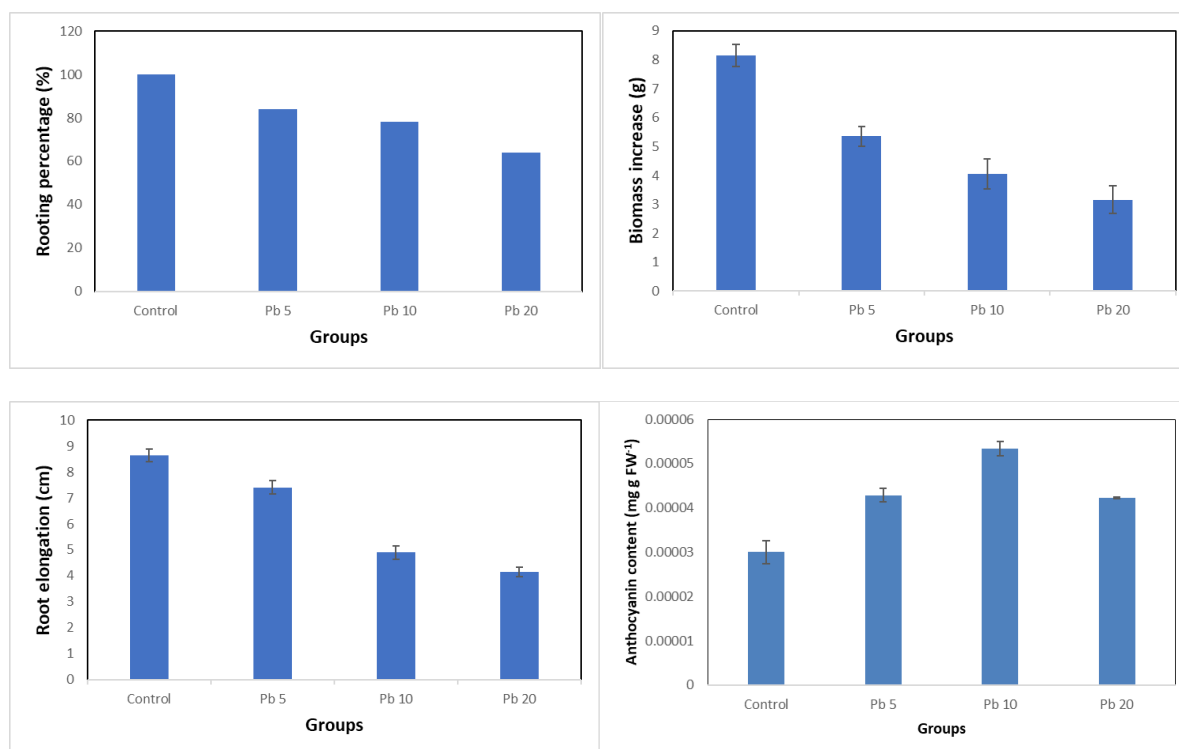


Figure 1. Change in growth and anthocyanin content under Pb stress.

CONCLUSION

The findings of the study showed that Pb, even at low concentrations, induces toxicity on physiological parameters and can restrict growth in *A. cepa*. The anthocyanin response did not show a linear behavior with Pb concentrations. The increase in anthocyanins appeared as an adaptive defense against low and moderate Pb doses, whereas high-dose exposure resulted in metabolic suppression. The Allium test is known to be highly correlated with mammalian tests. Therefore, the findings emphasized the importance of Pb toxicity not only for plants but also for public health. Environmental contamination of Pb should be kept under control and the mechanism of toxicity should be elaborated by supporting biochemical and cytogenetic studies.

REFERENCES

- Ahammed, G. J., & Yang, Y. (2022). Anthocyanin-mediated arsenic tolerance in plants. *Environmental Pollution*, 292, 118475.
- Ahmad, M. S. A., Ashraf, M., Tabassam, Q., Hussain, M., & Firdous, H. (2011). Lead (Pb)-induced regulation of growth, photosynthesis, and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) plants at early growth stages. *Biological Trace Element Research*, 144(1), 1229-1239.
- Ahmed, J. K., Salih, H. A., & Hadi, A. G. (2013). Anthocyanins in red beet juice act as scavengers for heavy metals ions such as lead and cadmium. *International Journal of Science and Technology*, 2(3), 269-273.
- Ai, P., Wang, Z., Li, Y., Yang, R., Biao, A., Jia, Y., Zong, Y., Wang, Y., & Zeng, S. (2025). Overexpression of anthocyanin activator LrAN2 improving black goji berry (*Lycium ruthenicum*) tolerant to cadmium stress. *Journal of Hazardous Materials*, 138686.
- Ara, A., & Usmani, J. A. (2015). Lead toxicity: a review. *Interdisciplinary Toxicology*, 8(2), 55.
- Buitrago, S., Yang, X., Wang, L., Pan, R., & Zhang, W. (2025). Evolutionary analysis of anthocyanin biosynthetic genes: insights into abiotic stress adaptation. *Plant Molecular Biology*, 115(1), 6.
- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D. M., Ali, M. N. V. S., Bahubali, P., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S., & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3, 100064.
- Dalyan, E., Yüzbaşıoğlu, E., & Akpınar, I. (2019). Physiological and biochemical changes in plant growth and different plant enzymes in response to lead stress. *Lead in Plants and the Environment*, 129-147.
- Gaion, L. A., Galati, V. C., Cardoso, A. C. R., Rossatto, D. R., & Carvalho, R. F. (2025). Shifting the anthocyanins from light to shade: what roles do these pigments play?. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 37(1), 16.

- Generalova, A., Davidova, S., & Satchanska, G. (2025). The mechanisms of lead toxicity in living organisms. *Journal of Xenobiotics*, 15(5), 146.
- Glińska, S., Bartczak, M., Oleksiak, S., Wolska, A., Gabara, B., Posmyk, M., & Janas, K. (2007). Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of *Allium cepa* L. roots treated with heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68(3), 343-350.
- Kalefetoğlu Macar, T., & Macar, O. (2024). A study on the effect of *Hypericum perforatum* L. extract on vanadium toxicity in *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 14(1), 28486.
- Kapahi, M., & Sachdeva, S. (2019). Bioremediation options for heavy metal pollution. *Journal of Health & Pollution*, 9(24), 191203.
- Kuloğlu, S. S., Çavuşoğlu, K., & Yalçın, E. (2024). LC–MS/MS phenolic profile and remedial role of *Urtica dioica* extract against Li₂CO₃-induced toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(42), 54589-54602.
- Kumar, B., Smita, K., & Flores, L. C. (2017). Plant mediated detoxification of mercury and lead. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2335-S2342.
- Mancinelli, A. L., Yang, C. P. H., Lindquist, P., Anderson, O. R., & Rabino, I. (1975). Photocontrol of anthocyanin synthesis: III. The action of streptomycin on the synthesis of chlorophyll and anthocyanin. *Plant Physiology*, 55(2), 251-257.
- Mitra, P., Sharma, S., Purohit, P., & Sharma, P. (2017). Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 54(7-8), 506-528.
- Mohamed, H. I., Ullah, I., Toor, M. D., Tanveer, N. A., Din, M. M. U., Basit, A., Sultan, Y., Mohammad, M., & Rehman, M. U. (2025). Heavy metals toxicity in plants: Understanding mechanisms and developing coping strategies for remediation: A review. *Bioresources and Bioprocessing*, 12(1), 95.
- Sadowska-Bartosz, I., & Bartosz, G. (2024). Antioxidant activity of anthocyanins and anthocyanidins: a critical review. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 12001.
- Sharma, P., & Dubey, R. S. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 35-52.
- Üstündağ, Ü., Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., & Çavuşoğlu, K. (2023). Effect of *Melissa officinalis* L. leaf extract on manganese-induced cyto-genotoxicity on *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 13(1), 22110.
- Yılmaz, H., Kalefetoğlu Macar, T., Macar, O., Çavuşoğlu, K., & Yalçın, E. (2023). DNA fragmentation, chromosomal aberrations, and multi-toxic effects induced by nickel and the modulation of Ni-induced damage by pomegranate seed extract in *Allium cepa* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(51), 110826-110840.

**COPPER-INDUCED PHYSIOLOGICAL STRESS IN *ALLIUM CEPA*
ENVIRONMENTALLY REALISTIC CONCENTRATIONS CHANGES IN
ANTHOCYANIN CONTENT**

Assoc. Prof. OKSAL MACAR

Giresun University, oksal.macar@giresun.edu.tr. 0000-0002-5067-8712

Assoc. Prof ALİ ACAR

Giresun University, ali.acar@giresun.edu.tr. 0000-0001-8617-2206

Assoc. Prof TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR

Giresun University, tugce.macar@giresun.edu.tr. 0000-0002-9946-8054

Asst. Prof. SELİN SİPAHİ KULOĞLU

Giresun University, selin.kuloglu@giresun.edu.tr. 0000-0001-9560-0225

ABSTRACT

This study aims to reveal the physiological stress and anthocyanin responses of *A. cepa* exposed to environmentally realistic Cu concentrations. For this purpose, four groups were formed as one control group (0 µg/L) and three Cu treatment groups (20 µg/L, 200 µg/L, and 2000 µg/L). The findings of the study indicate that Cu treatment causes a decrease in physiological parameters in *A. cepa*, depending on the treatment concentration. The percentage of the rooted *A. cepa* bulbs decreased with increasing Cu concentrations. In addition, higher Cu levels resulted in a major decrease in weight gain and root length compared with the control group. On contrast, Anthocyanin content increased dose-dependently with increasing Cu concentrations. These findings indicate that excessive Cu disrupts normal growth and development processes in *A. cepa*. In conclusion, the results of this study reveal that Cu exerts dose-dependent physiological toxicity in *A. cepa* bulbs. Considering the widespread environmental occurrence of Cu, further studies focusing on its ecological and biological impacts would be valuable for environmental risk assessment and monitoring programs. Furthermore, the fact that the *A. cepa* test shows significant agreement with tests conducted on mammals should be considered, and Cu toxicity should be addressed seriously from a public health perspective.

Keywords: *Allium cepa* L., anthocyanin, chromosomal aberrations, genotoxicity, lithium, micronucleus, mitotic index.

ÇEVRESEL OLARAK GERÇEKÇİ KONSANTRASYONLARDA BAKIRIN *ALLIUM* *CEPA*'DA İNDÜKLEDİĞİ FİZYOLOJİK STRES VE ANTOSİYANİN İÇERİĞİNDEKİ DEĞİŞİMLER

Doç. Dr. OKSAL MACAR

Giresun Üniversitesi, oksal.macar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5067-8712

Doç. Dr. ALİ ACAR

Giresun Üniversitesi, ali.acar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8617-2206

Doç. Dr. TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR

Giresun Üniversitesi, tugce.macar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9946-8054

Dr. Öğr. Üyesi SELİN SİPAHİ KULOĞLU

Giresun Üniversitesi, selin.kuloglu@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9560-0225

ÖZET

Bu çalışma, çevresel olarak gerçekçi Cu konsantrasyonlarına maruz kalan *A. cepa*'nın fizyolojik stres ve antosiyanin tepkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla, dört grup oluşturuldu: bir kontrol grubu (0 µg/L) ve üç deney grubu (20 µg/L, 200 µg/L ve 2000 µg/L). Çalışmanın bulguları, Cu tedavisinin, tedavi konsantrasyonuna bağlı olarak *A. cepa*'da fizyolojik parametrelerde bir azalmaya neden olduğunu göstermektedir. Köklenmiş *A. cepa* soğanların yüzdesi, Cu konsantrasyonlarının artmasıyla birlikte giderek azaldı. Ayrıca, daha yüksek Cu seviyeleri, kontrol grubuna kıyasla ağırlık artışı ve kök uzunluğunda belirgin bir azalmaya neden oldu. Aksine, antosiyanin içeriği, artan bakır konsantrasyonlarıyla birlikte doza bağlı şekilde artmıştır. Bu bulgular, aşırı Cu'nun *A. cepa*'da normal büyüme ve gelişim süreçlerini bozduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışmanın sonuçları Cu'nun *A. cepa* soğanlarında doza bağlı fizyolojik toksisite oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Cu'nun çevrede yaygın olarak bulunması göz önünde bulundurulduğunda, ekolojik ve biyolojik etkilerinin daha iyi değerlendirilmesine yönelik ileri çalışmalar çevresel risk değerlendirmesi ve izleme programları açısından önem taşımaktadır. Ayrıca, *A. cepa* testinin memeli hayvanlar üzerinde yapılan testlerle önemli ölçüde uyum göstermesi de dikkate alınmalı ve bakır toksisitesi halk sağlığı açısından ciddi bir şekilde ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa* L., antosiyanin, genotoksisite, kromozomal anormallikler, lityum, mikronükleus, mitotik indeks

INTRODUCTION

Copper (Cu) pollution has increased significantly in recent years due to human activities. Wastewater discharge, the use of fungicides in agriculture, metal processing and mining are the main reasons for this problem (Yadav, 2010).

Cu is an essential micronutrient that plays role in many physiological and biochemical processes in organisms, such as photosynthesis, respiration, and antioxidant defense mechanisms. Cu also functions as a structural and catalytic component of important enzymes in plants (Yruela, 2009). However, excessive Cu concentrations are associated with inhibited growth, impaired nutrient balance, and metabolic dysfunction, particularly in root meristems (Xu et al., 2024). Consequently, parameters such as rooting percentage, root length, and weigh gain are widely used as sensitive indicators of Cu-induced stress in plants.

In response to metal-induced oxidative stress, plants activate protective biochemicals such as anthocyanins. Anthocyanins are phenolic compounds with strong antioxidant capacity that contribute to defense against oxidative stress (Gould, 2004). Therefore, elevated anthocyanin level is interpreted as sign of stress intensity.

The *Allium cepa* assay is a widely accepted bioindicator system for evaluating the toxic effects of environmental contaminants. Due to its quickly growing adventitious roots, large and easily seen chromosomes, and clearly defined meristematic zones, this species is particularly suitable for studying both physiological and cytogenetic aspects (Fiskesjö, 1985).

Although the toxic effects of Cu on plants have been studied before, research on concentrations that are realistic in the environment is still limited. Moreover, the relationship between Cu-induced growth inhibition and anthocyanin accumulation has not been sufficiently clarified. Therefore, the present study aims to evaluate the physiological and anthocyanin responses of *A. cepa* exposed to environmentally relevant Cu concentrations.

MATERIALS AND METHOD

Allium cepa L. bulbs were bought from a local store in Giresun, Türkiye. In the laboratory, bulbs were rinsed, excess soil/dust was removed, and the basal plate was trimmed to remove old roots, ensuring uniform contact with test solutions. Four experimental groups, each consisting of fifty bulbs, were formed: one control group (tap water) and three Cu groups. A stock solution of copper(II) sulphate pentahydrate ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) was prepared in tap water. This stock was diluted to yield final Cu concentrations of 20, 200, and 2000 $\mu\text{g/L}$ (μg of Cu per L) in separate treatment solutions. Basal plates of bulbs were submerged in the assigned solution in a beaker. Treatments were carried out in the dark at room temperature for 3 days. All solutions were renewed every 24 hours.

After rioting period, root lengths were counted. The rooting percentage was calculated) using the formula $\text{Germination (\%)} = (\text{number of germinated bulbs} / \text{total number of bulbs}) \times 100$ (Macar et al., 2020).

Pre-treatment and post-treatment weights of the bulbs were measured with precision using a balance. For each treatment group, ten bulbs were randomly selected for measurements of root length and weight gain. Root length was measured using a ruler. Weight gain was calculated as the difference between final and initial weight.

To assess variations in anthocyanin content, *A. cepa* bulbs were grown under identical conditions for a period of 7 days. Following this growth period, anthocyanin levels in leaf tissues were determined using the procedure described by Mancinelli et al. (1975).

Statistical evaluation of the data was carried out with IBM SPSS Statistics 23. All results are reported as mean $\pm$ standard deviation (SD). Differences between treatment groups were analyzed by one-way analysis of variance (ANOVA). A probability value of $p < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS AND DISCUSSION

Cu treatment caused, concentration-dependent inhibition of growth-related parameters in *A. cepa*. Rooting percentage (Figure 1), bulb weight gain (Figure 2), and root length (Figure 3) declined progressively with increasing Cu concentration. Bulbs in the control group showed the highest root formation, weight gain, and root length, while Cu-treated groups exhibited a gradual reduction in all growth parameters. The consistent trend of decline in these parameters indicates that Cu adversely affects growth in *A. cepa*. In contrast to the decline in growth parameters, anthocyanin content increased with increasing Cu concentration (Figure 4). The lowest anthocyanin level was in the control group, while maximum value measured at 2000 $\mu\text{g/L}$ Cu.

Copper can limit plant growth and activate defense mechanisms by direct heavy metal toxicity and causing oxidative stress (Shabbir et al., 2020). Cu can directly hinder nutrient uptake and alter hormonal signaling, which are crucial for root formation (Yruela, 2009). Cu also can participate in Fenton and Haber-Weiss reactions, generating reactive oxygen species (ROS) (Møller et al., 2007). Anthocyanins function as effective ROS scavengers and metal chelators, stabilize metal ions, and reduce free radical damage (Gould, 2004). The Cu concentration-dependent increase in anthocyanin observed here aligns with previous findings showing that Cu-induced ROS signaling enhances the expression of anthocyanin biosynthesis genes (Mao et al., 2017).

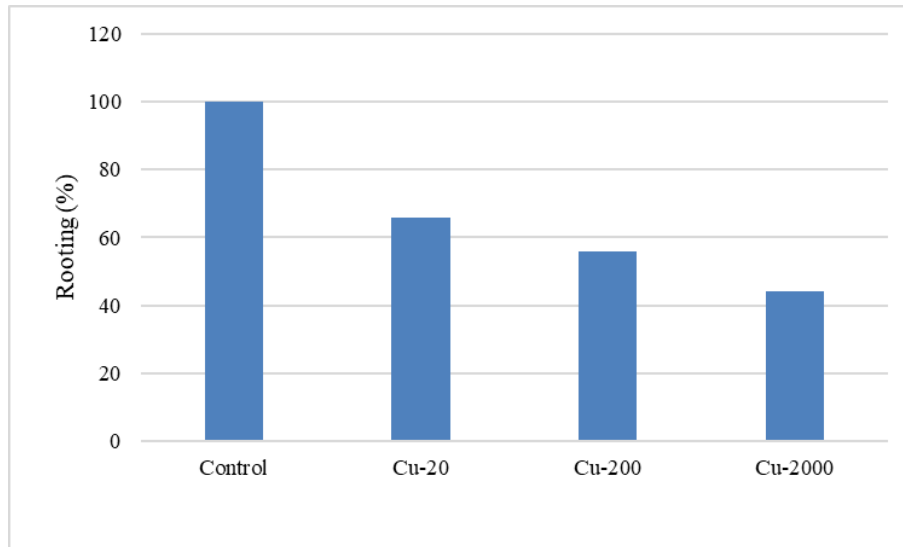


Figure 1. Effect of Cu treatment on rooting percentage in *A. cepa*.

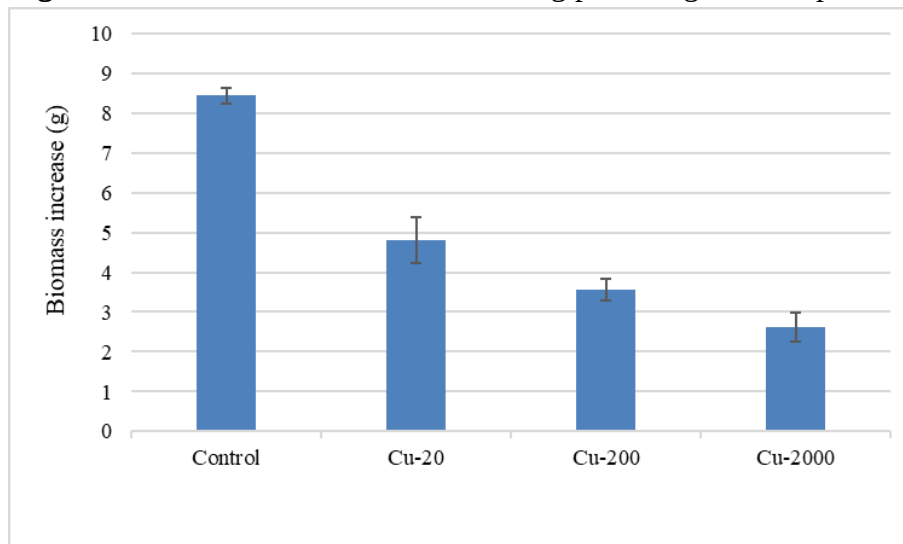


Figure 2. Effect of Cu treatment on bulb weight gain in *Allium cepa*.

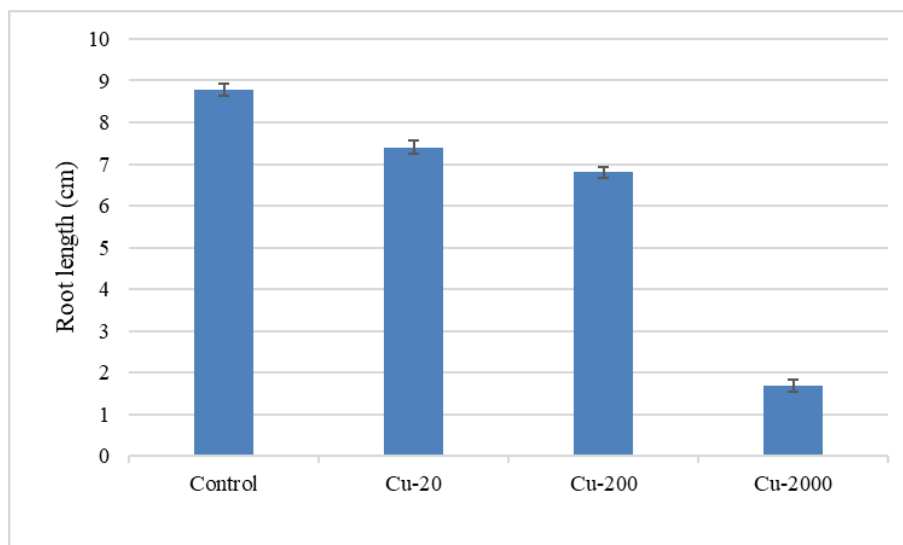


Figure 3. Effect of Cu treatment on root length in *A. cepa* seedlings.

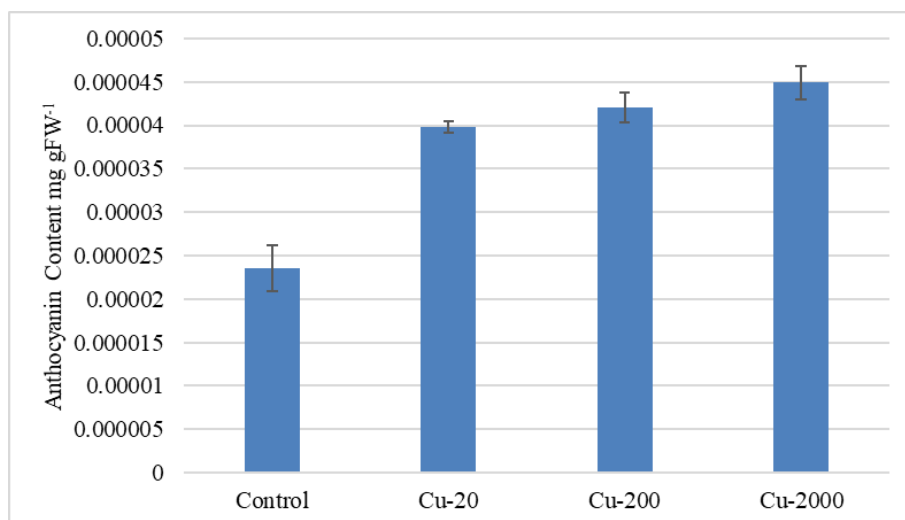


Figure 4. Changes in anthocyanin content in *A. cepa* under different Cu treatments.

CONCLUSION

Findings of the study shows that Cu treatments at environmentally relevant concentrations caused, dose-dependent growth inhibition in *A. cepa*. Reduced rooting, shorter roots, and lower biomass indicate that rooting process are highly sensitive to Cu stress. In parallel, the progressive increase in anthocyanin suggests activation of antioxidant defense mechanisms in response to oxidative pressure. These results indicate that high Cu levels can affect plant physiology and cause adaptive biochemical reactions. This highlights the ecological importance of monitoring Cu pollution..

REFERENCES

- Fiskesjö, G. (1985). The Allium test as a standard in environmental monitoring. *Hereditas*, 102(1), 99-112.
- Gould, K. S. (2004). Nature's swiss army knife: the diverse protective roles of anthocyanins in leaves. *BioMed Research International*, 2004(5), 314-320.
- Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Çavuşoğlu, K., & Yalçın, E. (2020). Determination of protective effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extract against cobalt (II) nitrate-induced toxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(32), 40253-40261.
- Mancinelli, A. L., Yang, C. P. H., Lindquist, P., Anderson, O. R., & Rabino, I. (1975). Photocontrol of anthocyanin synthesis: III. The action of streptomycin on the synthesis of chlorophyll and anthocyanin. *Plant physiology*, 55(2), 251-257.
- Mao, G., Meng, X., Liu, Y., Zheng, Z., Chen, Z., & Zhang, S. (2011). Phosphorylation of a WRKY transcription factor by two pathogen-responsive MAPKs drives phytoalexin biosynthesis in *Arabidopsis*. *The Plant Cell*, 23(4), 1639-1653.

Møller, I. M., Jensen, P. E., & Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 58, 459–481.

Shabbir, Z., Sardar, A., Shabbir, A., Abbas, G., Shamshad, S., Khalid, S., ... & Shahid, M. (2020). Copper uptake, essentiality, toxicity, detoxification and risk assessment in soil-plant environment. *Chemosphere*, 259, 127436.

Xu, E., Liu, Y., Gu, D., Zhan, X., Li, J., Zhou, K., ... & Zou, Y. (2024). Molecular mechanisms of plant responses to copper: From deficiency to excess. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6993.

Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. *South African journal of botany*, 76(2), 167-179.

Yruela, I. (2009). Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology*, 36(5), 409-430.

**ASSESSING THE GENOTOXIC FOOTPRINT OF LITHIUM AT
ENVIRONMENTALLY RELEVANT CONCENTRATIONS IN *ALLIUM CEPA* AND
ITS EFFECT ON ANTHOCYANIN CONTENT**

Assoc. Prof. OKSAL MACAR

Giresun University, oksal.macar@giresun.edu.tr. 0000-0002-5067-8712

Asst. Prof. SELİN SİPAHİ KULOĞLU

Giresun University, selin.kuloglu@giresun.edu.tr. 0000-0001-9560-0225

Assoc. Prof ALİ ACAR

Giresun University, ali.acar@giresun.edu.tr. 0000-0001-8617-2206

Assoc. Prof TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR

Giresun University, tugce.macar@giresun.edu.tr. 0000-0002-9946-8054

ABSTRACT

The environmental presence of lithium (Li) has increased in recent decades due to its increasing use in energy technologies and industrial processes. As Li is being detected more frequently in waters and soil environments, concerns have arisen regarding its adverse effects on non-target organisms. However, information on the genotoxic footprints of Li on higher plants and its relationship with anthocyanin limited. In this study, the genotoxic effects of Li were evaluated using *Allium cepa* L. *A. cepa* bulbs were divided into four groups, including one control group and three treatment groups exposed to Li at concentrations of 10, 100, and 1000 µg/L. Bulbs were rooted in the dark for three days, then root tips were collected and prepared for cytogenetic analysis using standard squash preparation and staining techniques. The results revealed a clear dose-dependent decrease in the mitotic index in Li-treated groups compared with the control. Concurrently, a significant increase in micronucleus frequency and chromosomal aberrations was observed. Anthocyanin content increased at the first two Li concentrations, while a marked decrease was observed at the highest concentration. In conclusion, the findings of this study demonstrate that Li exposure can induce genotoxic effects in *A. cepa* root meristem cells, even at concentrations relevant to environmental conditions. These results suggest that Li should be regarded as an emerging environmental pollutant and underline the need for further studies to better assess its potential ecological risks.

Keywords: *Allium cepa*, anthocyanin, chromosomal aberrations, genotoxicity, lithium, micronucleus, mitotic index.

**ÇEVRESEL OLARAK ANLAMLI KONSANTRASYONLARDA LITYUMUN
ALLIUM CEPA'DA GENOTOKSİK AYAK IZININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE
ANTOSİYANIN İÇERİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

Doç. Dr. OKSAL MACAR

Giresun Üniversitesi, oksal.macar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5067-8712

Dr. Öğr. Üyesi SELİN SİPAHİ KULOĞLU

Giresun Üniversitesi, selin.kuloglu@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9560-0225

Doç. Dr. ALİ ACAR

Giresun Üniversitesi, ali.acar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0001-8617-2206

Doç. Dr. TUĞÇE KALEFETOĞLU MACAR

Giresun Üniversitesi, tugce.macar@giresun.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9946-8054

ÖZET

Son yıllarda lityumun (Li) çevresel ortamlardaki varlığı, enerji teknolojileri ve endüstriyel süreçlerde artan olarak kullanılmasına bağlı olarak artış göstermiştir. Li'nin su ve toprak ortamlarda giderek daha sık tespit edilmesi, hedef olmayan organizmalar üzerindeki olumsuz etkilerine yönelik endişeleri beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte, Li'nin yüksek bitkiler üzerindeki genotoksik ayak izleri ve antosiyanin ile ilişkisine dair bilgiler sınırlıdır. Bu çalışmada, Li'nin genotoksik etkileri *Allium cepa* L. kullanılarak değerlendirilmiştir. *A. cepa* soğanları, bir kontrol grubu ve 10, 100 ve 1000 µg/L Li konsantrasyonlarına maruz bırakılan üç uygulama grubu olmak üzere dört gruba ayrılmıştır. Soğanlar karanlık koşullarda üç gün süreyle köklendirilen sonra, kök uçları toplanmış ve standart ezme preparatı ve boyama teknikleri kullanılarak sitogenetik analizler için hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Li uygulanan gruplarda kontrol grubuna kıyasla mitotik indekste doza bağlı belirgin bir azalma olduğunu ortaya koymuştur. Buna paralel olarak, mikronükleus sıklığında ve kromozomal anormalliklerde anlamlı artışlar gözlenmiştir. Antosiyanin içeriği, ilk iki lityum konsantrasyonunda artış göstermiş, buna karşılık en yüksek konsantrasyonda belirgin bir azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, çevresel koşullar açısından anlamlı kabul edilen konsantrasyonlarda dahi Li maruziyetinin *A. cepa* kök meristem hücrelerinde genotoksik etkilere yol açabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, Li'nin gelişmekte olan bir çevresel kirlenici olarak değerlendirilmesi gerektiğini ve ekolojik risklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için ileri ekotoksikolojik çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Allium cepa*, antosiyanin genotoksikite, kromozomal anormallikler, lityum, mikronükleus, mitotik indeks

INTRODUCTION

Lithium (Li) plays a central role in modern technologies supporting renewable energy systems and sustainable transportation. As these technologies grow, global Li demand has increased steadily over the coming decades. At the same time, the increasing extraction, use and release of Li has become a global issue, potentially leading to environmental pollution. (Yang et al., 2024). The Australian Inventory of Chemical Substances (AICS, 2007) classifies metallic Li as a health, physicochemical, and/or ecotoxicological hazard under the National Occupational Health and Safety Commission (NOHSC) criteria (Aral and Vecchio-Sadus, 2008).

Plants respond to Li exposure in a highly dose-dependent manner, ranging from growth inhibition and oxidative stress to neutral or even stimulatory responses at low concentrations (Shahzad et al., 2016). Li has reported to cause growth inhibition and necrotic tissue formation (Kuloğlu Sipahi et al., 2022). However, the genotoxicity of Li in high plants -particularly at environmentally relevant concentrations- and its connection to stress-related metabolic responses such as anthocyanin remain unclear.

The *Allium cepa* assay is a well-established plant bioindicator for environmental genotoxicity that reveals MI, MN and CAs endpoints (Leme & Marin-Morales, 2009). Accordingly, Li concentrations of 10, 100, and 1000 µg/L were selected as environmentally relevant levels, consistent with reported aquatic Li contamination ranging from approximately 1.58 to 1700 µg/L (Bolan et al., 2021). In this context, this study was conducted to evaluate the genotoxic effects of environmentally relevant Li concentrations in *A. cepa* and their relationship with anthocyanin content.

MATERIALS AND METHOD

Uniformly sized *Allium cepa* L. bulbs were purchased from a local market. Lithium carbonate (Li_2CO_3) was used as the Li source for the experiment. To evaluate genotoxicity, the *A. cepa* bulbs were divided into four groups, one control group and three treatment groups. Each group consisted of ten *A. cepa* bulbs. The control group (Con) was treated with tap water without Li, while the treatment groups were treated with increasing Li concentrations of (10 µg/L (Li-10), 100 µg/L (Li-100), and 1000 µg/L (Li-1000)).

Each Group were rooted in their respective solutions in a dark growth cabinet at room temperature for 72 h. At the end of the rooting period, root tips were cut and prepared using the standard squash method described by Macar et al. (2022). The preparations were stained using aceto-carmine (1%) for 16 h and examined under a microscope at 500× magnification. For each group, the mitotic index (MI) was determined by scoring 10,000 cells. Micronucleus (MN) and chromosomal aberrations frequencies were assessed in 1,000 cells.

To determine alterations in anthocyanin levels, *A. cepa* bulbs were rooted with the same conditions for 7 days. At the end of 7 days, anthocyanin levels in leaves were determined according to the method of Mancinelli et al. (1975).

Statistical analyses were performed with SPSS Statistics version 23.0. The data were analyzed by one-way ANOVA and by Duncan's test, with statistical significance of $p < 0.05$. All results are presented as mean $\pm$ standard deviation (SD).

RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 presents the alterations on MI value, MN frequency, and CAs levels in *Allium cepa* root meristem cells induced by Li treatment.

The MI showed no statistically significant difference at 10 $\mu\text{g/L}$ Li compared to the control group ($p > 0.05$). However, a significant reduction in MI was observed at 100 and 1000 $\mu\text{g/L}$ Li ($p < 0.05$). The most decrease detected in the Li-1000 group. This decrease can indicate a dose-dependent inhibition of mitotic activity as a result of high doses of Li exposure. In contrast, MN frequency increased significantly at higher Li concentration. Most significant rise was recorded 1000 $\mu\text{g/L}$ Li ($p < 0.05$).

Consistent with MN reduction, the frequency of chromosomal aberrations increased progressively with increasing Li concentration. No chromosomal abnormalities were observed in the control and Li-10 groups, while multiple aberration types emerged at 100 and 1000 $\mu\text{g/L}$ Li treatments. The most frequently observed aberrations were as follows, sticky chromosomes, chromosome fragments, unequal distribution of chromatin, bridges, and vagrant chromosomes, with their highest frequencies detected in the Li-1000 group (Table 1). Li exposure caused marked, concentration-dependent cytogenetic disturbances with.

The changes in anthocyanin content in *A. cepa* roots following exposure to increasing Li concentrations shown in Figure 2. Compared with the control group, anthocyanin content showed a clear increase at 10 and 100 $\mu\text{g/L}$ Li, its highest level is in the Li-100 group. At 1000 $\mu\text{g/L}$ Li, anthocyanin content declined relative to the Li-100 group, although it remained higher than the control level.

In the *Allium* assay, MI reflects cell-cycle speed, whereas MN/CAs capture genome instability from chromosome breakage and/or whole-chromosome loss (Lima et al., 2025). Li disturbs oxidative homeostasis (ROS accumulation) and microtubule dynamics. ROS can damage macromolecules and activate checkpoints that slow mitotic proliferation, while spindle impairment increases mis-segregation, yielding MN and vagrant/unequally distributed chromatin. In support, Kuloğlu Sipahi et al. (2022) found that Li_2CO_3 exposure in *A. cepa* decreased MI and increased MN/CAs while altering oxidative-stress markers, consistent with ROS involvement. Similarly, Lima et al. (2025) showed that environmentally relevant LiCl decreased MI and increased CAs.

Anthocyanins function as protective flavonoids and contribute antioxidant defense. Their levels often rise under mild stress, while severe stress decrease their accumulation (Agati et al., 2021). This shift reflects the limits of antioxidant mechanism of the plant machinery under high toxic stress.

Table 1. Cytotoxic effects of Li treatment on *A. cepa* root meristem cells.

	Control	Li-10 µ/L	Li-100 µ/L	Li-1000 µ/L
Mitotic Index	877± 21.45 ^a	879± 16.77 ^a	782± 7.09 ^b	662±12.50 ^c
Micronucleus	0.15±0.015 ^c	0.15± 0.10 ^c	15.17± 1.53 ^b	28.67±1.53 ^a
Sticky Chromosome	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^c	13.13 ± 1.52 ^b	27.00 ± 1.73 ^a
Fragment	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^c	11.33 ± 0.57 ^b	24.54 ± 5.98 ^a
Unequal distribution of chromatin	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^c	7.66 ± 1.52 ^b	19.66 ± 0.58 ^a
Bridge	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^c	6.66 ± 0.57 ^b	17.67 ± 1.15 ^a
Vagrant Chromosome	0.00 ± 0.00 ^c	0.00 ± 0.00 ^c	5.33 ± 0.47 ^b	13.67 ± 1.52 ^a

Control: tap water; Li-10: 10 µg/L lithium; Li-100: 100 µg/L lithium; Li-1000: 1000 µg/L lithium. Results are expressed as mean ± SD (n = 10). Different letters within the same row indicate statistically significant differences at $p < 0.05$.

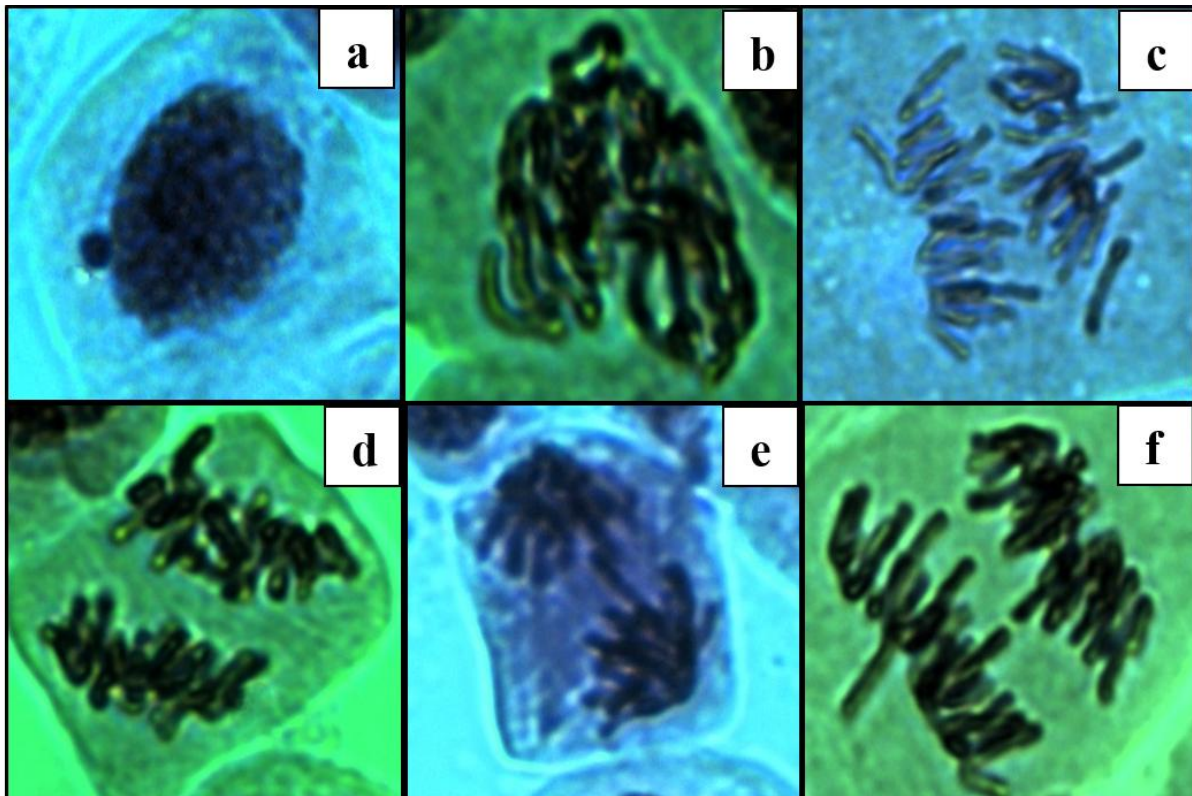


Figure 1. Li induced chromosomal aberrations on *A. cepa* root meristem cells Micronucleus (a), sticky chromosome (b), fragment chromosome (c), unequal distribution of chromatin (d), bridge (e), vagrant chromosome (f).

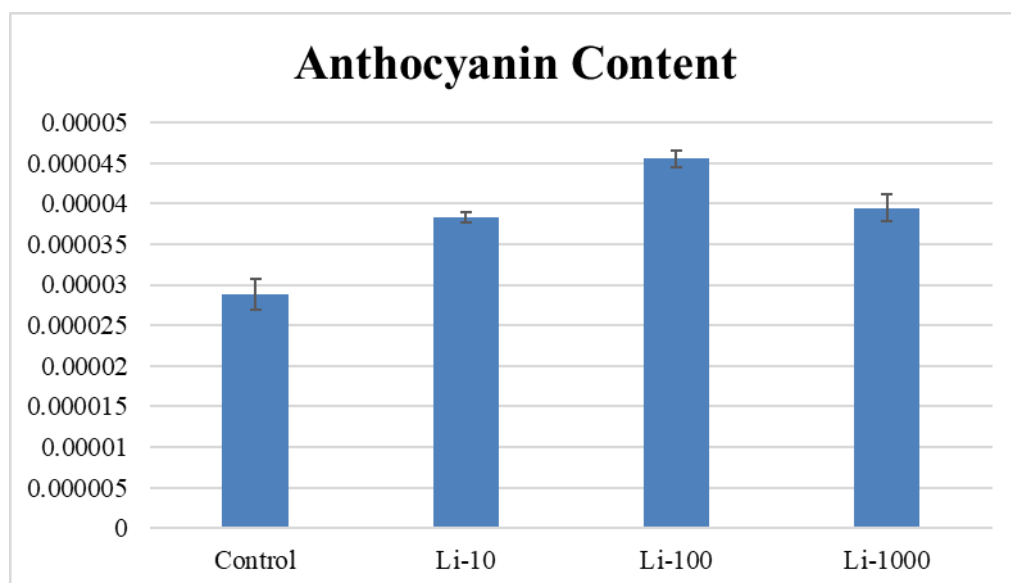


Figure 2. Li induced anthocyanin alterations on *A. cepa* roots

CONCLUSION

Results of this study reveal that even environmentally relevant concentrations Li can induce aberrant genotoxic effects in *A. cepa*. Reduced MI together with increased MN formation and CAs indicate that Li disrupts genetic material in root meristem cells. The biphasic response of anthocyanin production at low doses and suppression at the highest dose-suggests an initial protective antioxidant response that fails under excessive stress. In conclusion, findings of this study highlight Li as a potential pollutant and support importance to use combined cytogenetic and physiological markers for ecological risk assessment.

REFERENCES

- Agati, G., Guidi, L., Landi, M., & Tattini, M. (2021). Anthocyanins in photoprotection: knowing the actors in play to solve this complex ecophysiological issue. *The New Phytologist*, 232(6), 2228.
- Aral, H., & Vecchio-Sadus, A. (2008). Toxicity of lithium to humans and the environment—a literature review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 70(3), 349-356.
- Bolan, N., Hoang, S. A., Tanveer, M., Wang, L., Bolan, S., Sooriyakumar, P., ... & Rinklebe, J. (2021). From mine to mind and mobiles—Lithium contamination and its risk management. *Environmental Pollution*, 290, 118067.
- Kuloğlu, S. S., Yalçın, E., Çavuşoğlu, K., & Acar, A. (2022). Dose-dependent toxicity profile and genotoxicity mechanism of lithium carbonate. *Scientific Reports*, 12(1), 13504.
- Leme, D. M., & Marin-Morales, M. A. (2009). Allium cepa test in environmental monitoring: a review on its application. *Mutation research/reviews in mutation research*, 682(1), 71-81.

- Lima, G. G., Camilo-Cotrim, C. F., Silva, J. A. P., Firmino, M. T., Silva, N. A., Aguiar, A. S. N., ... & Almeida, L. M. (2025). Lithium chloride at environmental concentrations impairs microtubule function and promotes genotoxicity in *Allium cepa*. *Scientific Reports*, 15(1), 37619.
- Macar, O., Kalefetoğlu Macar, T., Yalçın, E., & Çavuşoğlu, K. (2022). Acute multiple toxic effects of Trifloxystrobin fungicide on *Allium cepa* L. *Scientific Reports*, 12(1), 15216.
- Mancinelli, A. L., Yang, C. P. H., Lindquist, P., Anderson, O. R., & Rabino, I. (1975). Photocontrol of anthocyanin synthesis: III. The action of streptomycin on the synthesis of chlorophyll and anthocyanin. *Plant physiology*, 55(2), 251-257.
- Shahzad, B., Tanveer, M., Hassan, W., Shah, A. N., Anjum, S. A., Cheema, S. A., & Ali, I. (2016). Lithium toxicity in plants: Reasons, mechanisms and remediation possibilities—A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 107, 104-115.
- Yang, X., Wen, H., Liu, Y., Huang, Y., Zhang, Q., Wang, W., ... & Jiang, G. (2024). Lithium pollution and its associated health risks in the largest lithium extraction industrial area in China. *Environmental Science & Technology*, 58(26), 11637-11648.

GENOTOXICITY ASSESSMENT OF IMAZAMOX PESTICIDE WITH COMET ASSAY

Ali ACAR*

Giresun University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services
and Techniques, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0001-8617-2206
E-Mail: ali.acar@giresun.edu.tr

Selin SİPAHİ KULOĞLU

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0001-9560-0225
E-Mail: selin.kuloglu@giresun.edu.tr

Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0002-9946-8054
E-Mail: tugce.macar@giresun.edu.tr

Oksal MACAR

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0002-5067-8712
E-Mail: oksal.macar@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Imazamox is often used in agricultural crops like wheat or anise and is particularly use with some genetically modified weed resistant crops. Imazamox is an herbicide of the imidazolinone class which works by inhibiting the enzyme acetolactate synthase (ALS), which in turn stops the production of important amino acids and proteins in plants. This is an example of the negative effects of imazamox which is used often in weed management among other things. Additionally, the pesticide, imazamox, is beneficial for production of certain crops because it works selectively against certain plants. This is also where the negatives of imazamox's potential toxicity to non-target crops and the surroundings because of imazamox's potential and negative effects. Imazamox's ability to volatilize is also a negative because it can move and damage neighboring crops. This study seeks to assess the capacity of imazamox to harm nuclear

material by subjecting *Allium cepa* L. bulbs to three varying doses of imazamox: 100, 150, and 200 mg/L over a duration of 72 hours. The comet assay will be used to assess the level of damage caused by the different concentrations of imazamox. Subsequent to exposure, root tips were collected for assessment and analysis of DNA damage via fluorescence microscopy, and the subsequent analysis, the statistical yielded arbitrary units for the quantification of DNA damage in the sample cells. It was shown that there was a notable increase in DNA damage in a dose-dependent manner with the greatest changes observed at the greatest dose of 200 mg/L. The comparison of means between the treatment and control groups for the level of DNA damage indicated a statistically significant difference ($p < 0.05$). The control (tap water) group exhibited low levels of DNA damage, while groups with Imazamox treatment exhibited increasing levels of DNA damage with each treatment. The data showed that Imazamox causes DNA damage in plant cells and poses a risk to the structural organization of the DNA of the non-target organisms. Prolonged use of Imazamox in farming practices poses indirect risk to non-target organisms. The findings signal the urgent need for a comprehensive risk assessment on the farming practices followed and the technologies being used to minimize drift, as well as additional interdisciplinary studies investigating the cytogenetic, biochemical, and ecological impacts of Imazamox and the potential ecological and human health risks of Imazamox.

Keywords : Imazamox, DNA Damage, Genotoxicity.

INTRODUCTION

Imazamox ($C_{12}H_{15}N_3O_4S$) is a compound with a special chemical structure that optimizes its interaction with chemicals. It is often used in agricultural crops like wheat or anise and is particularly use with some genetically modified weed resistant crops. Imazamox is an herbicide of the imidazolinone class which works by inhibiting the enzyme acetolactate synthase (ALS), which in turn stops the production of important amino acids and proteins in plants. This mechanism provides effective control by halting the growth and reproduction of weeds. This is an example of the negative effects of imazamox which is used often in weed control among other things. The changes occurring in the plant's metabolism after imazamox application are particularly effective on photochemical processes. This is also where the negatives of imazamox's potential toxicity to non-target crops and the surroundings because of imazamox's potential and negative effects. Imazamox's ability to volatilize is also a negative because it can move and damage neighboring crops (Kruger et al., 2024; Balabanova et al., 2016). Imazamox is generally used as directed on agricultural products such as wheat and anise; it also shows efficacy when applied in combination with artificially developed weed-resistant varieties (Domínguez-Mendez et al., 2018). Imazamox is widely used for weed control in agriculture. However, considering its effects on water resources, careful application is recommended, especially in wetlands. Its effective use against various plant species has led to imazamox finding a significant place in agricultural strategies. In particular, it has been noted that the development of imazamox-resistant plant varieties plays an important role in increasing agricultural productivity (Soni et al., 2022). Research into toxicity mechanisms provides important data on how imazamox is metabolized in plants, particularly regarding resistance mechanisms. In some plant species, imazamox metabolism has been linked to the activation of specific enzymes, and secondary metabolites have also been shown to reduce toxicity of imazamox in plants (Rojano-Delgado et al., 2019). Imazamox, although a widely used selective herbicide in agricultural production, is a critical issue requiring careful consideration of its potential toxic effects, environmental accumulation, and ecological risks. This study aims to reveal the potential genotoxic effects of imazamox using *Allium cepa* L., a test material considered a reliable biomodel in genotoxicity research. The research utilized the comet assay, known for its high sensitivity and widespread acceptance in determining DNA damage, to assess DNA integrity disruptions that may occur due to imazamox exposure. The findings of this study will provide a more comprehensive scientific knowledge of the environmental and

biological safety of imazamox and contribute to regulatory authorities establishing safer limits for its use and developing more effective risk management strategies.

MATERIAL AND METHOD

Test Material

Employing bulbs of *A. cepa* L. (2n=16) get from Giresun commercial market, the chemical imazamox was used as a chemical agent in the study.

Experimental Design

Four groups (one control and three treatments) of six bulbs each were set up.

Group I:	Control
Group II:	100 mg/L imazamox
Group III:	150 mg/L imazamox
Group IV:	200 mg/L imazamox

In the control group of bulbs, the bulbs were allowed to develop roots in tap water, whereas in the treatment groups, the bulbs were held in imazamox solution at room temperature for 72 hours. After this time, root tips about 1 cm long were removed and prepared for the comet assay.

Comet Assay

The alkaline single-cell gel electrophoresis adhered to the procedure established by Chakraborty et al. (2009). The roots were swiftly pulverized with a raster tool in 400 µL of cold Tris buffer (0.4 M, pH 7.5) combined with a 1:1 combination of 1% low melting point agarose (LMPA). The nuclear suspension, along with 1% LMPA in phosphate-buffered saline (PBS), was applied to slides that were pre-coated with 1% LMPA. Thereafter, the coverslip was carefully detached following the completion of LMPA gel formation. The slides, containing nuclei in LMPA, were subsequently placed in a horizontal gel electrophoresis tank filled with new, cooled electrophoresis buffer and treated to electrophoresis at 0.7 V/cm (20 V, 300 mA) for 4 minutes at 4 °C, totaling 15 minutes. Subsequent to electrophoresis, the slides were rinsed three times with filtered water and neutralized with Tris buffer (0.4 M Tris, pH 7.5). The nuclei were stained with ethidium bromide for 5 minutes following a 5-minute soak in cold water. Thereafter, the preparations were washed to eliminate remaining stains, and the coverslips were affixed. During these operations, measures were implemented to reduce DNA degradation by

operating under low light circumstances, and the samples were analyzed using a fluorescence microscope. The Comet Assay software version 1.2.3b (Końca et al., 2003, et al.) was employed to assess comets according to tail DNA length characteristics. A thorough investigation included the evaluation of 600 cells per group, with 100 cells examined in each bulb to measure DNA damage. The extent of DNA damage was evaluated on a scale from 0 to 4, according to the observed level of DNA damage. Cells were classified into five types according to tail DNA length, in accordance with Collins' categorization (2004). The cumulative DNA damage for each group, measured in arbitrary units, was calculated using equation 1.

$$\text{Arbitrary unit} = \sum_{i=0}^4 N_i \times i \quad (1)$$

(*i*: degree of damage (0, 1, 2, 3, 4), *N_i*: the number of cells in *i* degree)

Statistical Analysis

The data analysis was done by using the IBM SPSS Statistics 22 software, and the outputs were presented as mean values and standard error values (SEM). The statistical comparisons were done using Duncan's test, and ANOVA To find if any of the differences between the group means were statistically significant. The p-value of 0.05 was used to determine statistical significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 illustrates that imazamox adversely affects the DNA in the root tip cells of *A. cepa* L. The mean DNA damage score in Group I, the control group, was 17.83±2.27. In Group II, which received 100 mg/L of imazamox, the average scores rose significantly to 187.33±12.43. In Group III, which received 150 mg/L of imazamox, the mean score rose to 219.17±15.69. In Group IV, which received 200 mg/L of imazamox, the mean scores were the highest at 272.67±10.41. An increase in the dose of imazamox correlated with a higher average score, indicating greater DNA fragmentation and an increased number of strand breaks. The mean ratings of DNA damage among several groups were significantly distinct (p<0.05). Other researchers have conducted investigations that corroborate the obtained results. In a study by Cakmak-Arslan and Rasgele (2025), imazamox was applied to *A. cepa* bulbs at doses of 125, 250, and 500 ppm for 24 hours. The study indicated that mitotic irregularities and micronucleus formation were observed in the root tips of *A. cepa*, with genotoxic alterations being dose-

dependent, where elevated concentrations resulted in more pronounced effects. Rasgele et al. (2022) treated zebrafish peripheral blood cells with imazamox at different doses and durations, and reported that the frequency of MN increased with increasing concentration compared to the negative control, and that this herbicide is genotoxic to aquatic organisms.

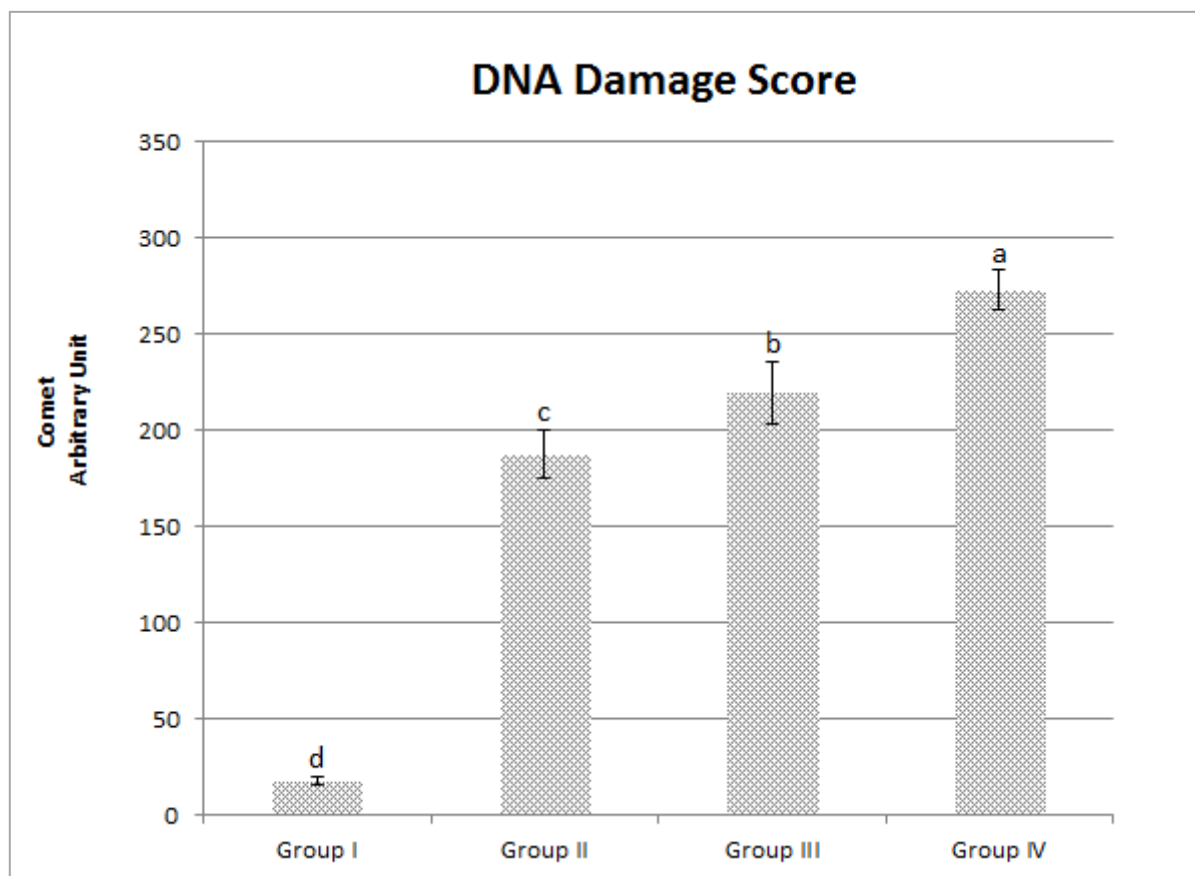


Figure 1. The Damage of DNA in the root tip cells of *A. cepa* L. due to imazamox treatment. (Group I: control, Group II: 100 mg/L imazamox, Group III: 150 mg/L imazamox, Group IV: 200 mg/L imazamox. Data are given as mean $\pm$ SEM).

CONCLUSION

In conclusion, it has been clearly demonstrated that imazamox application causes significant DNA damage in *Allium cepa* L. root tip cells. The increase in DNA damage scores with increasing dose indicates that imazamox has a dose-dependent toxic effect on genetic material. These findings reveal that the observed DNA fragmentation and increased strand breaks in plant cells demonstrate that imazamox has the potential to disrupt cellular integrity.

The increasing use of this herbicide in agricultural areas poses risks not only to non-target plants but also to ecosystem and environmental health. In particular, the use of seeds developed to withstand imazamox may lead producers to apply the herbicide at higher doses and more frequently, increasing environmental risks. This could have negative consequences for soil microbial balance, water pollution, and the sustainability of biodiversity. Therefore, further studies that more comprehensively evaluate the effects of imazamox on different organisms are of great importance in revealing potential risks. Furthermore, controlled use, dose optimization, and the development of alternative weed management strategies in agricultural practices will contribute to both reducing the environmental burden and protecting public health.

REFERENCES

- Balabanova, D., Paunov, M., Goltsev, V., Cuypers, A., Vangronsveld, J., & Vassilev, A. (2016). Photosynthetic Performance of the Imidazolinone Resistant Sunflower Exposed to Single and Combined Treatment by the Herbicide Imazamox and an Amino Acid Extract. *Frontiers in Plant Science*, 7.
- Cakmak-Arslan, G., & Rasgele, P. G. (2025). Spectroscopic and genotoxic assessment of Imazamox herbicide-induced alterations in the *Allium cepa* model system. *Vibrational Spectroscopy*, 103843.
- Chakraborty, R., Mukherjee, A.K., & Mukherjee, A. (2009). Evaluation of genotoxicity of coal fly ash in *Allium cepa* root cells by combining comet assay with the *Allium* test. *Environmental Monitoring and Assessment*, 153, 351-357.
- Collins, A. R. (2004). The comet assay for DNA damage and repair. *Molecular Biotechnology*, 26(3), 249-261.
- Domínguez-Mendez, R., Cruz, R., Rojano-Delgado, A., Silveira, H., Portugal, J., Cruz-Hipólito, H., ... & Prado, R. (2018). Stacked traits conferring multiple resistance to imazamox and glufosinate in soft wheat. *Pest Management Science*, 75(3), 648-657.
- Końca, K., Lankoff, A., Banasik, A., Lisowska, H., Kuszewski, T., Gózdź, S., Koza, Z., & Wojcik, A. (2003). A cross-platform public domain PC image-analysis program for the comet assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 15-20.
- Kruger, L., Ngan, D., Xu, T., Zhang, L., Xia, M., Simeonov, A., ... & Huang, R. (2024). Evaluating the Utility of the MSTI Assay in Predicting Compound Promiscuity and Cytotoxicity. *Chemical Research in Toxicology*, 37(10), 1691-1697.

- Rasgele, P. G., Meredova, G., & Kırankaya, Ş. G. (2022). Investigation of Genotoxic Effects of Imazamox Herbicide on Zebrafish (*Danio rerio*) Using Micronucleus Assay. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 10(4), 1664-1669.
- Rojano-Delgado, A., Portugal, J., Palma-Bautista, C., Cruz, R., Torra, J., Alcántara, E., ... & Prado, R. (2019). Target site as the main mechanism of resistance to imazamox in a *Euphorbia heterophylla* biotype. *Scientific Reports*, 9(1).
- Soni, N., Westra, E., Allegretta, G., Araújo, A., Pinho, C., Morran, S., ... & Gaines, T. (2022). Survey of ACCase and ALS resistance in winter annual grasses identifies target-site and nontarget-site imazamox resistance in *Secale cereale*. *Pest Management Science*, 78(12), 5080-5089.

GENOTOXICITY ASSESSMENT OF TEBUCONAZOLE FUNGICIDE WITH COMET ASSAY

Ali ACAR*

Giresun University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services
and Techniques, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0001-8617-2206
E-Mail: ali.acar@giresun.edu.tr

Selin SİPAHİ KULOĞLU

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0001-9560-0225
E-Mail: selin.kuloglu@giresun.edu.tr

Tuğçe KALEFETOĞLU MACAR

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0002-9946-8054
E-Mail: tugce.macar@giresun.edu.tr

Oksal MACAR

Giresun University, Faculty of Science and Art, Department of Biology, Giresun-Turkiye.
ORCID: 0000-0002-5067-8712
E-Mail: oksal.macar@giresun.edu.tr

ABSTRACT

Tebuconazole (C₁₄H₁₆ClN₃O), a member of the triazole family, is a synthetic fungicide widely used in agro-protectant formulations. Tebuconazole is also known as a thick, oily liquid. Although it has high solubility in most liquid products, it has a physical structure with a lower density than water. It is also important in agriculture due to its effectiveness in combating fungal infections. A detailed study of the characteristics, uses, potential toxicity, and environmental risks of the use of this fungicide is important for the sustainability of agricultural productivity and the environment. This study explores the potential for tebuconazole to cause genotoxicity using *Allium cepa* L. which is a commonly used organism for the study of genetic damage. For the purpose of this study, commercially available *A. cepa* L. bulbs were treated with tebuconazole for a period of 3 days at doses of 25, 50, and 100 mg/L to study the exposure of

the fungicide to the plant. The comet assay is the most widely used method to study the genotoxicity of a substance by measuring DNA strand breaks at the cellular level and is the most sensitive of all. After exposure to tebuconazole, the root tips were cut, prepared, and analyzed with a fluorescence microscope. This was complemented by ethidium bromide DNA damage staining and analyzed using Comet Assay Software v1.2.3b and DNA damage analyzed in arbitrary units. Among the tebuconazole treatments the highest concentration (100 mg/L) caused significant damage across various classes of DNA and there was a notable and significant dose dependent relationship observed ($p < 0.05$). Controls (tap water) showed the presence of very little DNA damage, while the tebuconazole treatments caused an increase in the levels of DNA damage in a dose dependent manner. All the results indicate that tebuconazole may be an environmental agent that is potentially genotoxic and cytotoxic to cells and DNA. All these results indicate that there is high potential of tebuconazole to cause plant cell genotoxicity. Thus, there is a strong potential that extensive application of tebuconazole will compromise the genomic integrity of non-target organisms. Therefore, results from the current study highlight the need to update the regulations on the level of exposure to tebuconazole in the environment, develop new controls, and perform additional studies that examine the problem in an in vivo and multi systemic manner to better understand the potential ecological consequences of tebuconazole contamination. It is very desirable to conduct additional studies that include biochemical indicators, markers of oxidative stress, and cytogenetic assessments conducted over a longer time period in order to comprehensively evaluate its environmental safety profile.

Keywords : Tebuconazole, DNA Damage, Genotoxicity.

INTRODUCTION

Tebuconazole ($C_{14}H_{16}ClN_3O$), a member of the triazole family, is a synthetic fungicide widely used in agro-protectant formulations. Tebuconazole is also known as a thick, oily liquid. Although it has high solubility in most liquid products, it has a physical structure with a lower density than water (Kahle et al., 2008). Tebuconazole has a triazole ring at the center of its molecular structure, which provides an effective mechanism of action against plant pathogens. Tebuconazole inhibits ergosterol biosynthesis by inhibiting marker enzymes (CYP51), thereby weakening the fungal cell membrane; this forms the basis of the fungicide's antifungal activity (Rösch et al., 2017). Tebuconazole is an important compound used in the protection of many agricultural products. It is particularly effective in preventing fungal diseases in cereal crops such as wheat, maize, and barley, and in various fruit trees (Chowdhary et al., 2012; Becher et al., 2010). It is also important in agriculture due to its effectiveness in combating fungal infections (Viegas et al., 2024). In addition to its use in agriculture, the ecotoxicological effects of tebuconazole must also be considered. It has been shown to have potentially harmful effects on aquatic ecosystems, particularly causing productivity and reproductive disorders in aquatic organisms (Draskau et al., 2019). In addition, its effects on soil health are being investigated; it has been proven that it can negatively affect biodiversity by impacting soil microflora (Cedergreen, 2014). Various in vivo and in vitro studies have shown that this compound, in addition to its disruptive effects on the endocrine system, may promote the development of antifungal resistance resulting from agricultural use (Snelders et al., 2008; Snelders et al., 2009). In particular, it is known that azole group antifungals, such as tebuconazole, can trigger the development of resistance in fungal organisms, which can also lead to cross-resistance to azole species used in medical treatment (Serfling et al., 2007; Poloni et al., 2020).

Tebuconazole is a substance used in agricultural production to increase yields by combating fungi; however, the health and environmental risks arising from its use must be closely examined, and its non-target effects must also be considered. It is crucial to investigate the effects of tebuconazole on soil, water, and living organisms by examining how it is absorbed, degraded, and how it can be harmful. The balance between environmental and health risks and the need to ensure the safe use of tebuconazole will be achieved through further academic research. The aim of this study is to investigate the genotoxicity of tebuconazole in *Allium cepa* L., a plant model frequently used in genotoxicity research. This study aims to improve the understanding of the potential genotoxic effects of tebuconazole using comet assay, a widely

accepted method for assessing DNA damage. The findings of this study will provide critical data for risk assessment by revealing the effects of the compound on non-target organisms.

MATERIAL AND METHOD

Test Material

Using *A. cepa* L. bulbs (2n=16) purchased from a commercial market in Giresun as the test materials, tebuconazole was used as a chemical agent in the investigation.

Experimental Design

A total of four groups, one control and three applications, each with six bulbs, were created.

- Group I: Control
- Group II: 25 mg/L tebuconazole
- Group III: 50 mg/L tebuconazole
- Group IV: 100 mg/L tebuconazole

Root development was carried out in tap water for the control group of bulbs, while the treatment group bulbs were soaked in tebuconazole at room temperature for 72 hours. After this time, root tips about 1 cm long were removed and prepared for the comet assay.

Comet Assay

The alkaline single-cell gel electrophoresis adhered to the procedure established by Chakraborty et al. (2009). The roots were swiftly pulverized with a raster tool in 400 µL of cold Tris buffer (0.4 M, pH 7.5) combined with a 1:1 combination of 1% low melting point agarose (LMPA). The nuclear suspension, along with 1% LMPA in phosphate-buffered saline (PBS), was applied to slides that were pre-coated with 1% LMPA. Thereafter, the coverslip was carefully detached following the completion of LMPA gel formation. The slides, containing nuclei in LMPA, were subsequently placed in a horizontal gel electrophoresis tank filled with new, cooled electrophoresis buffer and treated to electrophoresis at 0.7 V/cm (20 V, 300 mA) for 4 minutes at 4 °C, totaling 15 minutes. Subsequent to electrophoresis, the slides were rinsed three times with filtered water and neutralized with Tris buffer (0.4 M Tris, pH 7.5). The nuclei were stained with ethidium bromide for 5 minutes following a 5-minute soak in cold water. Thereafter, the preparations were washed to eliminate remaining stains, and the coverslips were affixed. During these operations, measures were implemented to reduce DNA degradation by

operating under low light circumstances, and the samples were analyzed using a fluorescence microscope. The Comet Assay software version 1.2.3b (Końca et al., 2003, et al.) was employed to assess comets according to tail DNA length characteristics. A thorough investigation included the evaluation of 600 cells per group, with 100 cells examined in each bulb to measure DNA damage. The extent of DNA damage was evaluated on a scale from 0 to 4, according to the observed level of DNA damage. Cells were classified into five types according to tail DNA length, in accordance with Collins (2004) categorization. The cumulative DNA damage for each group, measured in arbitrary units, was calculated using equation 1.

$$\text{Arbitrary unit} = \sum_{i=0}^4 N_i \times i \quad (1)$$

(*i*: degree of damage (0, 1, 2, 3, 4), *N_i*: the number of cells in *i* degree)

Statistical Analysis

The data analysis was conducted utilizing IBM SPSS Statistics 22 software, with outputs reported as mean values and standard error of the mean (SEM). Statistical comparisons were conducted utilizing Duncan's test and ANOVA to detect any differences among the group means were statistically significant. The p-value of 0.05 was employed to ascertain statistical significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 illustrates the impact of tebuconazole on DNA within the root tip cells of *A. cepa* L. The findings unequivocally indicate that the DNA of root tip cells was compromised as a result of tebuconazole exposure. The average DNA damage score in Group I, the control group, was 11.83±1.14. The average DNA damage score in Group II, administered 25 mg/L tebuconazole, rose significantly to 182.83±9.35. The DNA damage score in Group III, administered 50 mg/L tebuconazole, was 217.67±5.41. Group IV, which received 100 mg/L tebuconazole, attained the maximum DNA damage score of 268.50±11.42. With the escalation of tebuconazole dosage, the DNA damage score proportionally intensified, signifying an augmentation in DNA fragmentation and strand breaks. The disparities in DNA damage ratings across the groups were determined to be statistically significant (*p*<0.05). Additional researchers have performed investigations that corroborate and augment the acquired findings. Aragao et al. (2021) treated *Lactuca sativa* with different doses of Tebuconazole and reported a dose-dependent increase in

chromosomal alterations and DNA damage. In the study conducted by Bernandes et al. (2015), *Allium cepa* L. test material was treated with Difenconazole and Tebuconazole, and they reported that a high rate of chromosomal and nuclear aberrations occurred as a result of the treatment. Solano and Andrioli (2024) reported that exposure to tebuconazole caused abnormal mitosis, anaphase disorder, and c-metaphase damage in *A. cepa* test material. In a study conducted by Othmene et al. (2020), it was reported that tebuconazole caused significant DNA damage and oxidative stress in the kidney tissue of Wistar rats, disrupted cellular redox balance, and made genetic material more susceptible to oxidative damage.

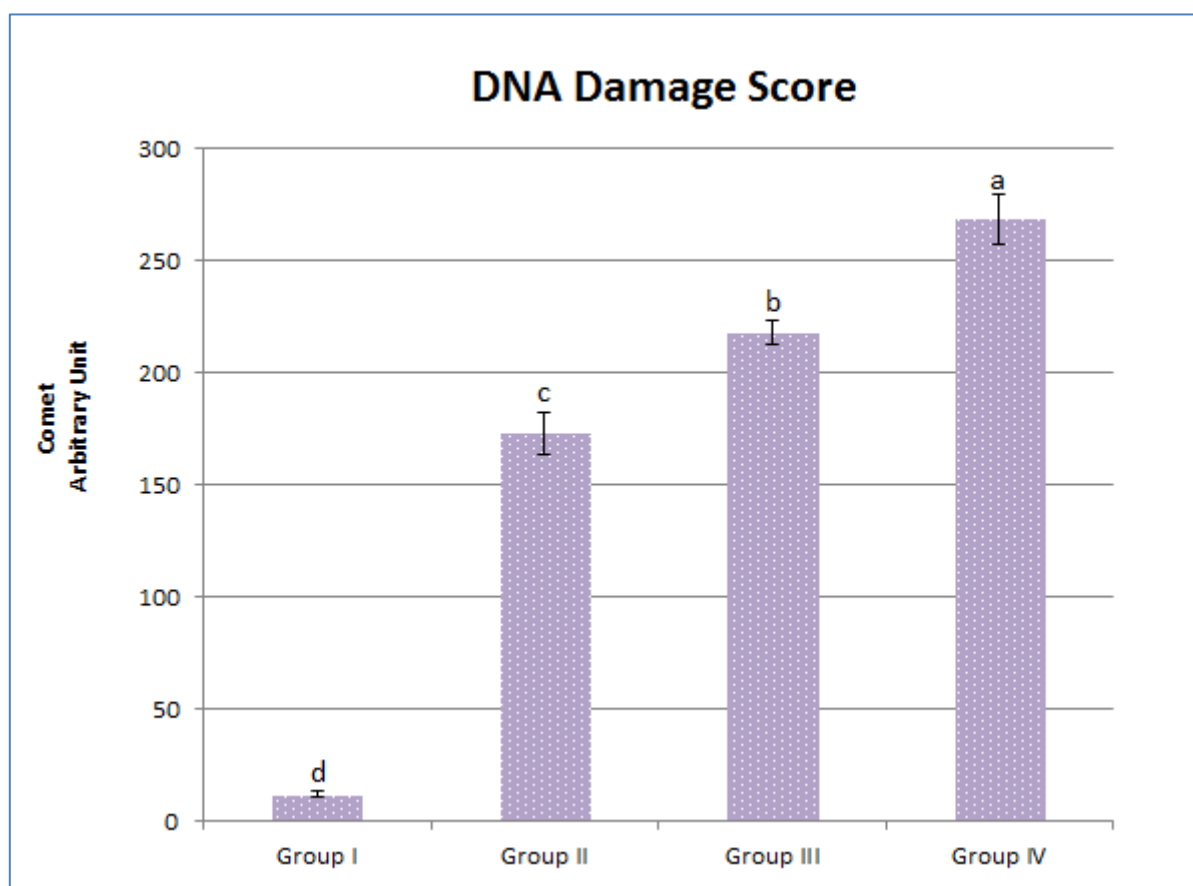


Figure 1. The Damage of DNA in the root tip cells of *A. cepa* L. due to tebuconazole. (Group I: control, Group II: 25 mg/L tebuconazole, Group III: 50 mg/L tebuconazole, Group IV: 100 mg/L tebuconazole. Data are given as mean $\pm$ SEM).

CONCLUSION

The findings of this study clearly demonstrate that tebuconazole causes dose-dependent DNA damage in *Allium cepa* root tip cells. In all application groups, DNA integrity was severely compromised compared to the control group, and the levels of DNA breaks and fragmentation in the cells increased significantly with increasing dose. These results indicate that tebuconazole has genotoxic potential and causes significant stress responses at the cellular level. In light of these findings, it is understood that tebuconazole use, especially at high concentrations, can negatively affect genetic stability in plant tissues. This suggests that pesticide dosing in agricultural applications should be carefully evaluated and the risk-benefit balance should be reconsidered. The minimum effective dose should be determined for tebuconazole applications, and overuse should be avoided. Overall, it was concluded that tebuconazole causes significant genetic damage at high doses, and this effect should be carefully evaluated in terms of environmental and agricultural sustainability.

REFERENCES

- Aragão, F. B., Duarte, I. D., Fantinato, D. E., Galter, I. N., Silveira, G. L., Dos Reis, G. B., & Matsumoto, S. T. (2021). Toxicogenetic of tebuconazole based fungicide through *Lactuca sativa* bioassays. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 213, 111985.
- Becher, R., Hettwer, U., Karlovský, P., Deising, H., & Wirsal, S. (2010). Adaptation of *Fusarium graminearum* to Tebuconazole Yielded Descendants Diverging for Levels of Fitness, Fungicide Resistance, Virulence, and Mycotoxin Production. *Phytopathology*, 100(5), 444-453.
- Bernardes, P. M., Andrade-Vieira, L. F., Aragão, F. B., Ferreira, A., & da Silva Ferreira, M. F. (2015). Toxicity of difenoconazole and tebuconazole in *Allium cepa*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 226(7), 207.
- Cedergreen, N. (2014). Quantifying Synergy: A Systematic Review of Mixture Toxicity Studies within Environmental Toxicology. *Plos One*, 9(5), e96580.
- Chakraborty, R., Mukherjee, A.K., Mukherjee, A. (2009) Evaluation of genotoxicity of coal fly ash in *Allium cepa* root cells by combining comet assay with the *Allium* test. *Environ Monit Assess* 153:351-357.
- Chowdhary, A., Kathuria, S., Xu, J., Sharma, C., Sundar, G., Singh, P., ... & Meis, J. (2012). Clonal Expansion and Emergence of Environmental Multiple-Triazole-Resistant *Aspergillus fumigatus* Strains Carrying the TR34/L98H Mutations in the *cyp51A* Gene in India. *Plos One*, 7(12), e52871.

- Collins, A. R. (2004). The comet assay for DNA damage and repair. *Molecular biotechnology*, 26(3), 249-261.
- Draskau, M., Boberg, J., Taxvig, C., Pedersen, M., Frandsen, H., Christiansen, S., & Svingen, T. (2019). In vitro and in vivo endocrine disrupting effects of the azole fungicides triticonazole and flusilazole. *Environmental Pollution*, 255, 113309. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113309>
- Kahle, M., Buerge, I., Hauser, A., Müller, M., & Poiger, T. (2008). Azole Fungicides: Occurrence and Fate in Wastewater and Surface Waters. *Environmental Science & Technology*, 42(19), 7193-7200.
- Końca, K., Lankoff, A., Banasik, A., Lisowska, H., Kuszewski, T., Gózdź, S., Koza, Z., Wojcik, A. (2003). A cross-platform public domain PC image-analysis program for the comet assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 534(1-2), 15-20.
- Othmène, Y. B., Monceaux, K., Karoui, A., Salem, I. B., Belhade, A., Abid-Essefi, S., & Lemaire, C. (2020). Tebuconazole induces ROS-dependent cardiac cell toxicity by activating DNA damage and mitochondrial apoptotic pathway. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 204, 111040.
- Poloni, N., Carvalho, G., Vicentini, S., Dorigan, A., Maciel, J., McDonald, B., ... & Ceresini, P. (2020). Widespread distribution of resistance to triazole fungicides in Brazilian populations of the wheat blast pathogen. *Plant Pathology*, 70(2), 436-448.
- Rösch, A., Gottardi, M., Vignet, C., Cedergreen, N., & Hollender, J. (2017). Mechanistic Understanding of the Synergistic Potential of Azole Fungicides in the Aquatic Invertebrate *Gammarus pulex*. *Environmental Science & Technology*, 51(21), 12784-12795.
- Serfling, A., Wohlrab, J., & Deising, H. (2007). Treatment of a Clinically Relevant Plant-Pathogenic Fungus with an Agricultural Azole Causes Cross-Resistance to Medical Azoles and Potentiates Caspofungin Efficacy. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 51(12), 7103-7108.
- Snelders, E., Lee, H., Kuijpers, J., Rijs, A., Varga, J., Samson, R., ... & Verweij, P. (2008). Emergence of Azole Resistance in *Aspergillus fumigatus* and Spread of a Single Resistance Mechanism. *Plos Medicine*, 5(11), e219.
- Snelders, E., Veld, R., Rijs, A., Kema, G., Melchers, W., & Verweij, P. (2009). Possible Environmental Origin of Resistance of *Aspergillus fumigatus* to Medical Triazoles. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(12), 4053-4057.
- Solano, G. S. M., & Andrioli, N. B. (2024). Genotoxic effects induced by iprodione and tebuconazole in meristematic cells of *Allium cepa*: responses dependent on concentration

and exposure time. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(11), 17289-17298.s

Viegas, C., Dias, M., Pacífico, C., Faria, T., Clérigo, A., Brites, H., & Viegas, S. (2024). Portuguese cork industry: filling the knowledge gap regarding occupational exposure to fungi and related health effects. *Frontiers in Public Health*, 12.

YAŞLI BİREYLERDE SAĞLIKLI YAŞLANMANIN KIRSAL VE KENTSEL BAĞLAMDA İNCELENMESİ

Hemşire AYŞEGÜL KILIÇ

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, asegulkc@ gmail.com -ORCID ID:0009-0003-0194-6092

Dr. Öğr. Üyesi FİGEN ÇAVUŞOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, figen.cavusoglu@omu.edu.tr ORCID ID:0000-0001-9789-

2006

ÖZET

Dünya genelinde insanların yaşam sürelerinin artması, aynı zamanda artan dünya nüfusuyla beraber içinde hiç azımsanmayacak oranda artan yaşlı nüfusu yakın ve gelecek yıllar için ülkelerde stres oluşturmaktadır. Bu artış özellikle gelişmiş ülkeler başta olmak üzere bütün dünyanın en önemli toplumsal sorunlarından birisi olarak önem kazanmaktadır. Bu konu üzerine çözüm arayışları içerisinde sağlıklı yaşlanma, aktif yaşlanma, başarılı yaşlanma gibi pek çok kavramı ortaya çıkarmaktadır. Sağlıklı yaşlanma politikalarının geliştirilmesi, Birleşmiş Milletler Genel Kurulunun 2021- 2030 yılları arasını ‘Sağlıklı Yaşlanmanın On Yılı’ olarak kararlaştırması da aslında durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır. Sağlıklı yaşlanma sadece bireyleri değil toplumu, devletleri etkilemektedir.

Yaşlılığın hayatın bir dönemi olduğu, pek çok insanın bu dönemi yaşayacağı tahmin edilirse bu süreçte ortaya çıkan ihtiyaçların karşılanması gerektiği bilinmelidir. Sağlıklı ve daha aktif yaşlı bireylerin oluşturulması için yaşlılara yönelik sürdürülebilir politikalar düzenlenmeli, sağlık ve sosyal güvenlik sistemlerinde nüfustaki demografik değişiklikleri ciddiye alan önlemler alınmalı, eğitim ve istihdam politikalarıyla da değişime uyum sağlamalıdır. Yaşlı bireylerin refahını sağlayacak olan fonksiyonel yeteneğin geliştirilmesi ve sürdürülmesi olarak da tanımlanan sağlıklı yaşlanmayla yaşlılığa uyum sağlanarak yaşam kalitesinin artırıldığı yapılan çalışmalarla desteklenmiştir. Ancak yaşlılık ile ilgili tecrübeler kişiden kişiye değiştiğinden dolayı bu dönem bazıları için iyi bazıları için kötü bir dönem olarak değerlendirilebilir. Bu dönemi etkileyen psikolojik, bilişsel, fiziksel vb. pek çok faktör bulunur. Fiziksel ve sosyal çevre yaşlıların topluma katılımı konusunda belirleyici faktör olup bireylerin yeterliliğini etkilemektedir. Kırsal ve kentsel alanlarda yaşam sürmek sağlıklı yaşlanma üzerinde etkileyici bir faktör olmaktadır. Bu bağlamda yaşlı bireylerin aktif katılımını destekleyen, yapı ve

hizmetleri yaşlı bireyler için erişilebilir kılan aynı zamanda yaşlılar için güvenli çevreler oluşturan Yaş Dostu Kentler (Age Friendly Cities) kavramı Dünya Sağlık Örgütü tarafından oluşturulmuştur. Buna karşın kentsel alanlara bakıldığında, sağlıklı yaşlanma sürecini etkileyen kalabalık, gürültü ve hava kirliliği yüksek kaliteli hizmetlere erişim güçlüğü, suça karışma korkusu gibi unsurlardan da bahsedilebilir. Kültürel değerlerin aktarılıp yaşatılmasında önemli role sahip olunan kırsal yaşamda ise yaşlıların, doğadan faydalanılarak elde ettikleri bilgileri, deneyimleri ve üretkenlikleri toplumlar için hali hazırda bir veri kaynağı oluşturduğu bilinmektedir. Öyle ki bu araştırmayla yaşlı bireylerde sağlıklı yaşlanmanın kırsal ve kentsel bağlamda durumu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sağlıklı Yaşlanma, Yaşlılık, Kırsal ve Kentsel,

1. GİRİŞ

Küresel nüfus yaşlanmakta öyle ki, dünya üzerindeki hemen her ülke, nüfusundaki yaşlı kişilerin sayısında ve oranında artış yaşamaktadır. Birleşmiş Milletlerin açıklamalarına göre 2080 yılına gelindiğinde, 65 yaş ve üzeri kişilerin sayısı 18 yaş altı çocukların sayısını aşacağı öngörülmekte olup 2070'lerin sonlarına doğru, 65 yaş ve üstü küresel nüfusun 2,2 milyara ulaşması beklenmektedir (BM, 2019). Birleşmiş Milletler Nüfus Fonu Türkiye raporunda 65 yaş ve üzeri nüfusun 2050 yılında tahmini yaklaşık 20 milyon olacağı ve yaşlı nüfusun genel nüfusa oranının %8'den %21'e yükseleceği öngörülmektedir (UNFPA, 2016). Bütün bu veriler aslında ülkelerin, sağlık ve uzun süreli bakım sistemlerini güçlendirmesi, sosyal koruma sürdürülebilirliğini sağlaması ve yeni teknolojilere yatırım yaparak önemli demografik değişikliklere kendilerini hazırlamaları gerektiğini göstermektedir (BM, 2019).

İlk kez yaşlanma konusu üzerine Dünya Yaşlanma Meclisi'nin 1982'de toplanmasından bu yana günümüze kadar çok sayıda konferanslar, etkinlikler, bildiriler ve eylem planları yapılmış ve yayınlanmıştır. Bu eylemlerle, yaşlı bireylere ve gelişime öncelik vererek; yaşlılıkta sağlık ve refahı ilerletme ve sürdürme, konut ve çevre, aile, sağlık ve beslenme vs. destekleyici ortamların sağlanması amaçlanmıştır (BM, 2019). Türkiye'de ise bu bağlamda yaşlı nüfusta oluşan artışa uygun sağlık sistemi cevabının geliştirilmesi hedefiyle Dünya Sağlık Örgütü Yaşlılık ve Sağlık Eylem Planı (2016-2020) ile uyumlu olarak 2020'den 2030'a kadar Sağlıklı Yaşlanmanın On Yılı'nı desteklemek için gerekli kanıtları ve ortaklıkları oluşturmak üzere hedef ve stratejilerinin sürdürülmesi amaçlanan eylemler yapılmaktadır (Sağlık Bakanlığı, 2021).

İnsanlar hayatta var oldukça yaşamın anlamı, özellikleri ve biçimi değişmektedir. Fizyolojik süreç içinde olan yaşlılık ise her türlü psikolojik, biyolojik, ekonomik ve sosyal vs. parametrelerden oldukça ağır etkilenen ve diğer yaş gruplarına göre değişkenlere daha açık olduğu yaşam evresidir. Yaşlı bireylerin aile içerisindeki mevcut konumları, sağlık hizmetleri, sosyal güvenlik sorunları, yoksulluk, yalnızlık, farklı insanlarla olan ilişkileri, kentleşmeyle beraber gelen sorunlar ve yaşamdan beklentilerinin dikkatlice incelenmesi gerekmektedir (Yapıcıoğlu, 2009; Üçok, 2018). Bunlar göz önüne alındığında yaşlı bireylerin içinde

bulundukları yaşamsal (kentsel ve kırsal) ortamlarda karşılarına çıkabilecek sosyal sorunların ve bu sorunlara yönelik çözüm amaçlı uygulamalarının değerlendirildiği çalışmaların önemi bir kez daha ortaya çıkmaktadır. Buna karşın literatürde yaşlanmayla birlikte mekân ve çevre ilişkisi üzerinde duran, değerlendiren çalışmaların yeteri kadar olmadığı görülmüştür (Kurtkapan, 2018). Yaşlılık üzerine yapılan araştırmalar, üzerinde durulması gereken tespitleri de beraberinde getirmiştir. Kent ve kırsal alanlar olarak farklı sosyokültürel çevrelerde yaşamını sürdüren yaşlı kişiler arasındaki yaşlılık algısı üzerinden modernleşmenin yaşlılar üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmada, yaşlı bireylerin yaşama bakış açılarında, yaşam tercihlerinde ve gelecek beklentilerinde yaşam yerlerine göre farklılıkların bulunduğu fark edilmiştir (Yapıcıoğlu, 2009; Kurtkapan 2018).

Bu çalışmada yaşlılığa mekânsal perspektiften bakılarak, sağlıklı yaşlanma kavramı kırsal ve kentsel bağlamda incelenmiştir.

2. YAŞLILIK

Yaşlılık, zamanın ilerleyişine bağlı olarak fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutta değerlendirilmesi gereken kuşkusuz olağan hallerde, her insanın karşılaştacağı bir evredir. Bu evrenin tanımı ve kapsamı tarihsel süreç içerisinde toplumdan topluma, kültürden kültüre, kişilerin özelliklerine ve toplumsal gelişmişliğe göre değişiklik gösterebilmektedir (Aydın ve Aydın Avcı, 2022; Çoban ve İlik, 2021). Yaşlılık, kişinin fiziksel ve bilişsel fonksiyonlarında gerilemeye, gençlik ve güzelliğin, üretkenliğin, cinsel hayatın, sağlığın, bağımsızlığın, gelir seviyesinin, saygınlığının, arkadaşların, eş ve yakın ilişkisinin, sosyal yaşantının ve statünün, desteklerin azalması yada kaybı bu döneme özgü çokça sorunla karşı karşıya kalınan bir kayıplar dönemidir (Konak ve Çiğdem, 2005). Yaşlılık üzerine ortak tanım bulunmamakla beraber pek çok tanım yapılmıştır. ‘Yaşlılık ve Dostluk’ eserinde adeta bir yaşlılık savunusu yapmış olan Cicero (M.Ö. 106- 43) yaşlılığı olgunlaşmış meyve metaforu ile açıklayıp, yaşlılığın hayattaki ağırlığını, zorluğunu göz ardı etmezken aynı zamanda “*en onurlu görevlerde bulunan kimselere yaşlılar denir*” (Cicero, 1998) şeklinde yaptığı açıklama ile yaşlılığı tanımlarken de yaşlılığın saygınlığına vurguda bulunmuştur. DSÖ ise tanımlamada daha çok kronolojik yaşı dikkate alarak yaşlılığı 65 yaş ve üzeri olarak kabul etmektedir. Yaşlılığı kendi içerisinde 65-74 yaş grubu genç yaşlılık, 75-84 yaş grubu orta yaşlılık, 85 ve üzeri yaş grubunu ise ileri yaşlılık olarak üç alt gruba ayırmaktadır (WHO 2018). Bunun ötesinde BM yapmış olduğu çalışmalarda 60 ve üstü yaş grubunu yaşlı olarak kabul etmektedir (UNFPA 2016).

Yaşlanma aslında tek boyutlu bir kavram değil, yaşlılığı etkileyen faktörlere göre tanımları yapılabilen bir kavramdır. Bunlardan bazıları:

Kronolojik/Takvimsel Yaş-yaşlılık: Kişinin doğumundan bu yana içerisinde var olduğu ana kadar geçen senelere bağlı olarak geçirdiği yaşlanma sürecine karşılık gelmektedir (Yılmaz ve Mermutlu, 2023). Kronolojik yaştan, kişilerin işlevsellik düzeyinin bir göstergesi olmasa da işlevsel yaş boyutuyla bağlantılı olduğu belirtilmektedir (Aydın ve Aydın Avcı, 2022).

Biyolojik Yaş-yaşlılık: Beden üzerinde zamana bağlı olarak değişiklikler meydana gelmektedir. Bu durum yaşlı kişiler açısından olumsuzluk taşımaktadır. Çünkü meydana çıkan değişimler kişilerin günlük yaşamına etki etmektedir. Bu değişimler: aktivitede yavaşlama, omurganın eğilmeye başlaması, işitme ve görmede zayıflık gibi durumlardır. Kişilerde ortaya çıkan bu değişimler ruhsal ve toplumsal açılardan da problem yaşamalarına sebep olmaktadır (Çubukcu ve Çiçek, 2023).

Psikolojik Yaş-yaşlanma: Psikolojik boyutta yaşlılığın zaman içinde ilerlemesiyle bireyin algılama, öğrenme, sorun çözme gibi hafıza gücüyle kişilik kazanma alanlarında adaptasyon imkanlarındaki değişimlerdir. Aslında bireyin yaşına bağlı davranışlarındaki adaptasyon yeteneğidir (Çubukcu ve Çiçek, 2023).

Ekonomik Yaş-yaşlanma: Yaşlı kişiler bilhassa ekonomik gücün azalmasıyla kendi kendine yetemeyeceği düşüncesi ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu durum, yaşlıda etrafına yük olabilmeye endişesi ile derin bir üzüntü yaşatmaktadır. Bu yaşlılık döneminde yaşanan endişeli hallerinin, mutsuzluğun ve sağlık sorunlarının önüne geçmek için yaşlı kişilere uğraşı oluşturmada ve mevcut potansiyelleri uygun alanlarda aktif hale getirmekte iyilik vardır (İlhan ve Bayrak, 2018).

Sosyal yaş-yaşlanma: Yaşlanmanın toplumsal boyutu, “bireyin yaşadığı toplumdaki yaşa ilişkin normları, yani toplumda belirli bir yaş grubundan beklenen davranışları ve toplumun bu gruba verdiği değeri ifade etmektedir” (Karataş, 1990). Başka bir ifadeyle, kişilerin rol ve statü çizgisinde toplumsal ilişkilerinde yaşadıkları değişim ve toplum tarafından beklenen tabuların yaş grupları üzerindeki değişkenliğidir denilebilir. Bu yaklaşımla, yaşlılığın toplumdan topluma hatta aynı toplum içinde farklı dönemlerde ve kültürlerde değişiklikler gösterdiği söylenebilir (İlhan ve Bayrak, 2018).

Yaşlılık üretkenliğin zirvede olduğu yetişkinlik döneminden sonra birtakım gerilemelerin görüldüğü bir dönem olarak ortaya çıkmaktadır. Öyle ki bu birtakım değişiklikler ve sorunlar kişiden kişiye farklılık göstermektedir. Genel olarak kronik hastalıklarda artış, psikososyal sıkıntılar, emeklilikle gelen yeni yaşama ve role uyum sağlamada zorlukların yaşanması, ekonomik kayıplara uyum sağlamakta sorunlar, yetersiz beslenme, yalnızlık ve bakım gibi daha pek çok sorunla karşı karşıya kalınmaktadır (Ağar, 2020). Tüm bunlarla birlikte yaşlı bireylerin yaşam kalitesinde artışı sağlamak adına “Sağlıklı Yaşlanma” kavramı gündeme gelmiştir.

2.1. SAĞLIKLI YAŞLANMA

Yaşlı nüfusun artması ve artık bireylerin daha uzun yaşam ömrüne sahip olması sağlık ve sosyoekonomik kalkınma politikalarının bir başarısı olarak karşımıza çıksa da içinde bulunduğumuz dönemin önemli bir problemi olarak görülmektedir. Yaşlı nüfusun artması sağlık, bakım ve sosyal sistemlere baskıyla birlikte yetersizliklerin yaygınlaşmasına yol açmaktadır (Harooni ve ark 2014). Fakat uzun yaşam kişileri ve toplumlarca istenilen bir durum olduğundan, sosyoekonomik açıdan yük oluşturan bazı durumların önüne geçilmesi bu süreçte büyük önem taşımaktadır (Karakaya ve Özaydın 2024).

Yaşlı nüfusun artmaya devam etmesi nedeniyle, yüksek yaşam kalitesini teşvik etme, topluma sürekli katkıyı destekleme ve sağlık hizmetleri maliyetlerini azaltma hedefinden kaynaklı sağlıklı yaşlanmanın teşvik edilmesi, iyi yaşlanma fırsatlarına sahip olunması küresel boyutta bir önceliktir. (CDC, 2015; BM, 2021; Tessier ve ark., 2025). Sağlıklı yaşlanma tüm yaşam seyrini kapsayan herkes için geçerli olan bir süreç olduğundan, sağlıklı yaşlanmayı sağlayacak ve destekleyecek olan eylemler her yaşta yapılabilir ve yapılmalıdır. (Wickramasinghe ve ark., 2020; Avşar ve ark., 2024). Bu eylemleri oluştururken ise herkes için kapsayıcı olmasına ve her yaş grubuna uygun olmasına özen gösterilmelidir. Bu hususta sağlıklı yaşlanma hedeflerinin hayata uyandırılabilmesini kolaylaştırmak ve sürdürülebilirliğini sağlamak için Birleşmiş Milletler tarafından 2015 yılında yayınlanan Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi (SKH) pek kapsamlı bir kaynak olarak kabul edilebilir. SKH, yoksulluğa son vermek, gezegeni korumak ve 2030 tarihine kadar bütün insanların barış ve refaha sahip olmasını sağlamak amacıyla farklı gelişmişlik seviyelerine sahip her ülke için geçerli ve hiçbirini geride bırakmayacak şekilde tasarlanmış 17 evrensel hedeften oluşan ve 169 gösterge ile takip edilen bir eylem çağrısıdır (BM, 2015). Bu çağrı eşitsizlikleri gidermek ve herkesi içine alan iyi bir sağlık sistemi kurmak için hak temelli ve cinsiyet duyarlı davranışlar geliştirmenin yansıra hızlı kentleşmeyi, iklim ve çevreye yönelik tehditlerin dikkate alınmasına; şehirleri sürdürülebilir kılmak, kariyer ve iş fırsatları yaratmak güvenli ve uygun fiyatlı konutları sağlamak ve dayanıklı toplumlar ve ekonomiler ile kapsayıcı yöntemlerle iyileştirmeyi ve daha fazlasını içerir (UNDP, 2022). SKH'ni oluşturan 17 madde bütünüdür yani bir alandaki eylem diğer alanlardaki sonuçları etkilediğinden tüm eylemler ayrılmaz bir bütün özelliğine sahiptir. Kalkınmanın sağlanabilmesi için sosyal, ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliğin eşit bir şekilde sağlanması gerektiğini kabul edilmektedir (BM, 2015). Yaşlanma süreci SKH üzerinden incelendiğinde ise; yoksulluk ve açlığın giderilmesi, hayat boyu öğrenmenin vurgulanması ve teşvik edilmesi, sürdürülebilir şehirler ve toplumların inşası, kadının erkeğe, erkeğin kadına avantaj sağlamadığı cinsiyet eşitliğine ve her alanda eşitsizliği azaltma yönündeki hedef maddelere sahip olmasıyla, sağlıklı yaşlanma sürecini ve SKH'ni birbiri ile bağdaştırır (BM, 2015; Avşar, 2024). Ayrıca sağlıklı yaşlanma kavramını yaşlılık döneminde refahı sağlamak amacıyla işlevsel becerilerin sürdürülmesi süreci olarak tanımlayan Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), 2020-2030 yıllarını içine alan Sağlıklı Yaşlanma On Yılı programını harekete geçirmiştir. Bu programın kapsamında sağlık sistemlerinin yaşlı kişilerin gereksinimlerine uygun hale getirilmesi, uzun vadede bütünleşmiş bakım için gerekli altyapının oluşturulması, sağlık hizmetlerinde insan kaynaklarının kuvvetlendirilmesi, yaş ayrımcılığıyla mücadele de küresel bir kampanyanın yürütülmesi ve yaş dostu şehirler ile toplumlar için bir küresel ağın geliştirilmesi bulunmaktadır (WHO, 2018).

Bütün bu yapılan konferanslar oluşturulan politikaların yanı sıra sağlıklı yaşlanma üzerine pek çok yeni kavramlar ortaya çıkaran bir dizi bütünsel teoriler de bulunmaktadır. Bunlar arasında DSÖ'nün sağlıklı yaşlanma teorisi (DSÖ, 2005), Rowe ve Kahn'ın başarılı yaşlanma teorisi (Rowe ve Kahn, 1987;1997;1998), seçici optimizasyon ve telafi teorisi (Baltes ve Baltes, 1990; Baltes ve Cartensen, 1996) ve Flood'un başarılı yaşlanma teorisi (Flood ve Scharer, 2006) yer almaktadır. Bu teoriler odak noktalarında farklılık gösteriyor olmalarına rağmen bazı ortak yönleri vardır. Bunlar şöyledir; yaşlanmayla ilişkili kazanımların (örneğin, bilgelik ve ustalık) altını çizmek, kişilerin yaşlanmayla ilişkin olası değişikliklere nasıl uyum sağlayabileceği, yaşa

bağlı değişiklikler sebebiyle farklı hedefleri veya faaliyetleri yeniden önceliklendirmek ve sağlığın, rollerin, katılım işlevinin veya refahın korunması gibi ortak noktalara değinmektedir. (Smith ve ark., 2024).

Sağlıklı yaşlanma kavramının yanı sıra ‘aktif yaşlanma’, ‘başarılı yaşlanma’, ‘üretken yaşlanma’ kavramları kullanılmakta ancak literatürde kimi zaman bu kavramların birbirinin yerine kullanıldığı görülmektedir. Sağlık koşullarından dolayı fiziksel olarak yeterince aktif olmayan bir grup yaşlı bireyi dışladığı düşüncesiyle ‘aktif yaşlanma’, çalışmakta olmayan bir grup yaşlıyı dışladığı gerekçesiyle ‘üretken yaşlanma’ ve yaşlı kişilere sahte beklentiler yüklediği ve kişileri monotipleştirdiği yönünden ‘başarılı yaşlanma’ kavramı da eleştirilmekte ve tartışılmaktadır (Özdemir ve ark. 2020). Aynı zamanda yaşlanmanın iyi bir şekilde gerçekleşmesine dair kapsamlı teorilerin, giderek çeşitlenen yaşlı nüfusun deneyimlerini yansıtmayı yansıtmadığı sorusu da ortaya çıkmaktadır (Smith ve ark., 2024).

Yaşlı kişilere hayattan çekilmek yerine hayata katılmalarını teşvik eden, yaşlanma konusunda olumlu bakış açısı kazandıran teoriler de mevcuttur (Koçak ve ark. 2024). Yaşlı kişilerin ileri yaş dönemi problemlerini minimuma indirmek için mümkün olduğunca hareket halinde, aktif kalması gerekmektedir (Yin ve ark., 2013). Yaşlılık döneminde sağlığın sürdürülmesi için aktiviteler, serbest zaman aktiviteleri, sosyal ortamlara katılım, çevre ile temas halinde olunması, fiziksel aktivite, zihinsel egzersizler, günlük rutin işler ve herhangi bir hobi ile uğraşmak önemlidir (Tereci ve ark., 2016). Yaşlı kişilerin başarılı yaşlanabilmeleri ve yaşam kalitelerini olumlu yönde artırabilmeleri için serbest zaman aktivitelerine katılımları ve düzenli devamlılıkları önemli olarak görülmektedir (Zhao ve Hu, 2023). Serbest zaman aktiviteleri ise, iş hayatından uzaklaşabilmek, dinlenmek, hava değişimi isteği üzerine gezmek ve farklı mekanlar keşfetmek için aynı zamanda sağlıklı olabilmek için kişilerin ev içinde ya da dışında, kapalı ya da açık alanda aktif/pasif şekilde yaptığı aktiviteler olarak da açıklanmıştır. (Türker vd., 2016). Serbest zaman aktiviteleri kişilerin yaşamında çok önemli olmakla beraber, etkinliklere katılan kişiler daha mutlu ve yaşam doyumu kazanmış kişilerdir bu sebeple yaşlı kişilerin yaşamlarında başarılı yaşlanma için önemli bir adımdır (Kim, 2014). Öyle ki Aydan 2025 yılında yaptığı çalışmada serbest zamanlarında yürüyüş yapan kişilerin fiziksel ve psikolojik iyilik hallerine olumlu katkıları olduğunu, başarılı yaşlanma ve sağlık çıktılarına olan desteğini göstermiş ve vurgulamıştır (Aydan, 2025). Huzurevindeki yaşlı bireylerle yaptığı çalışmasında Sertdemir (2023) ise fiziksel aktivite (Bocce oyunu) ve aralıklı beslenme uygulamalarının, sağlıklı yaşlanma sürecine sarkopeniye, metabolik hastalık gelişim süreçlerine karşı ve bilişsel işlevleri iyileştirebileceği kanısına vararak sağlığı iyileştirmek ve hastalıklara karşı mücadele etmek için pratik, etkili ve farmakolojik olmayan bir yaklaşım olabileceğini göstermiştir.

Araştırmalar insanların, fiziksel ortamlar ve topluluklar güvenli olduğunda ve düzenli yürüyüş gibi sağlığı ve refahı destekleyen tutum ve davranışlar teşvik edildiğinde ayrıca sağlık hizmetleri ve topluluk programları, akut ve kronik hastalıkların işlev üzerindeki etkisini önlemek veya en aza indirmek için etkili bir şekilde kullanıldığında sağlıklı yaşlanmayı en kolay şekilde başarabileceklerini göstermiştir. Yaşlı yetişkinler için halk sağlığı çalışmaları, sağlığın tüm yelpazesini ele almaya başlamıştır. Bu daha geniş bakış açısının değeri, kafa karışıklığı ve hafıza kaybı, günlük yaşam aktivitelerini gerçekleştirme zorluğu veya

arkadaşlardan ve aileden izolasyon gibi zorlukları hesaba katmasıdır. (CDC, 2015). DSÖ aktif ve sağlıklı yaşlanma hedefi kapsamında, yaşlı kişilerde hastalıkları engellemek ve yaşam standardını sağlamak amaçlı sağlıklı yaşam şekli alışkanlıklarının iyileştirilmesine ihtiyaç duyulduğunu bildirmiştir. Tam da bu noktada hemşirelerin yaşlı kişilerin ihtiyaçları doğrultusunda şekillendirilmiş bir bakımla desteklemeleri, yaşam kalitelerini iyileştirmede oldukça önemlidir (WHO, 2002). Hemşireler yaşlı kişilerin yetersiz hissettikleri ya da oldukları taraflarından ziyade kendilerini yeterli buldukları taraflar üzerine odaklanmaları, yaşlı kişilere ve bakım vericilerine bütüncül bir eğitim vermeleri, yaşlı dostu çevre ve sağlık merkezlerinin oluşturulmasına katkı sağlaması, yaşlı kişilerin fiziksel aktivitelerini desteklemesi ve yürüyüş alanlarının ve güvenli parkların oluşturulması için öncü bir ses olması yaşlıların aktif ve sağlıklı yaşlanmasına aynı zamanda sağlık sektörüne pozitif katkı sağlayacaktır (Özdemir ve Akdemir, 2006; Zanjani ve ark., 2015).

Sonuç olarak hem yetişkin dönem hem de yaşlılık döneminde farklı yönlerden fiziksel aktiviteyi destekleyen mekanlarda bulunmak ya da yaşamak, fiziksel olarak daha aktif olmak, ileride yaşanabilecek pek çok kronik hastalık riskini azaltarak, sağlıklı bir yaşlılık dönemi geçirme imkanı sunacaktır.

2.2. KIRSAL VE KENTSEL ALANDA SAĞLIKLI YAŞLANMA

Toplumsal hayatın hızlı bir şekilde akıp gittiği, değişimin ve dönüşümün olduğu, sosyal ve ekonomik anlamda imkânların elverişli hale geldiği yerler olan kentler, insanların yaşam alanlarını kurduğu mekânlardır. Kentlerin çekici unsurları insanlara kent yaşamını cazip kılmaktadır. Eğitim, barınma, sağlık, sosyal ihtiyaçlara kolay erişim, serbest zaman geçirme olanakları vb. birçok imkânlar kent merkezlerinde yer alır fakat kentlerin homojen bir yapısı olmayışından ötürü bu imkânlarla erişim de her birey için aynı olmamaktadır. Buradan hareketle kent mekânları ayrışmanın, sınıfsal yapının, gündelik hayat pratiklerinin ve sosyal ilişkiler ağının farklı olduğu yerlerdir (Akpınar, 2025). Buna nazaran kırsal alanlar ise, yaşam ve ekonomik faaliyetlerin azımsanmayacak ölçüde doğal kaynakların kullanımına değerlendirilmesine bağlı olduğu, toplumsal, kültürel ve ekonomik, gelişme sürecinin bir dereceye kadar yavaş işlediği, gelenek ve törelerin, yaşam biçimi ve kurallarını etkilediği aynı zamanda teknolojik gelişmelerin yaşama ve üretime yansıma oranının nispeten zamana yayıldığı alanlar olarak tanımlanmaktadır. Kırsal alanlar denince; nüfus yoğunluğunun düşük gözlendiği, doğal kaynakların pek bol bulunduğu, ekonomisinin daha çok tarım üzerinden yürüdüğü, doğal koşulların ve geleneksel değerlerin yaşamın biçimlendirilmesinde etkin olduğu, aynı zamanda eğitim, sağlık, haberleşme vs. sosyal imkanlarının yeterince gelişmemiş olan yerler akla gelmektedir (TKB, 2005). Oysaki mekân, yalnızca coğrafi olarak fiziksel özellikleri ile değil, içinde yaşayan kişilerle anlamlı bir bütün oluşturan, sosyal ve psikolojik özellikleri de bünyesine alan bir kavramı yansıtmaktadır (İsen, 2022).

Kent yaşamı, yaşlı bireyler üzerinde hem destekleyici hem de zorlayıcı etkiler yaratabilmektedir (Taşkesen, 2017). Kentsel ve kırsal alan arasındaki ayrım, sağlığı etkileyebilecek erişimdeki farklılıklar (avantaj-dezavantaj) nedeniyle halk sağlığı ve sağlık müdahaleleri açısından önemlidir. Kentsel alan avantajı olarak şehirde yaşamının, sosyoekonomik heterojenlik, sosyal

destek ve uyum için daha fazla fırsat, çeşitli ekonomik gelişmelere maruz kalma, sağlığı teşvik eden yapılı çevrelerle sık temas, kentsel alanların iyi şehir konutları ve diğer özellikleri nedeniyle sağlığa fayda sağladığı fikrine odaklanılmaktadır (Vlahov ve ark., 2005). Bununla beraber, kentsel alanda yaşayan yaşlılar zaman zaman ev ortamında yalnızlık yaşayabilseler de sosyal etkileşim ve katılım açısından fazlaca seçenekleri vardır. Kentsel alanlarda gerçekleşen çeşitli kültürel ve sosyal etkinlikler, atölye çalışmaları, eğitim programları ve gönüllülük faaliyetleri, yaşlı kişilerin aktif bir şekilde toplumla ilişki kurabilmelerine imkân sağlanılmaktadır. Ayrıca, kentsel alanlarda yaşam boyu öğrenme kültürünün yaygın olduğu ve bu tür programların kurumsal yapılar tarafından desteklendiği bilinmektedir. Bu durum, yaşlı kişilerin gerek zihinsel gelişimlerini sürdürmelerine gerekse toplumsal yaşamla olan bağlarını güçlendirmelerine katkı sağlamaktadır (Taşkesen, 2017). Buna karşılık, kentsel alanın dezavantajı üzerine literatür; kentsel alanlarda yaşamamanın, suç, kirlilik, yoksulluk, kötü konut koşulları, yetersiz tıbbi bakım, bulaşıcı hastalıklar ve diğer koşulların yoğunlaşması yoluyla sağlığa zarar verdiğini de öne sürmektedir (Frumkin ve ark., 2004; Greenberg, 1991). Yaşlılık perspektifinden kent yaşamına yaklaşıldığında, kentsel alanların yaşlı nüfus grubu üzerinde olumsuz yönlerden biri olarak, gençlerin iş gücü piyasasında yaşlılara kıyasla aktif rol alması ve modern yaşam biçimlerinin değişmesiyle, yaşlı kişilerin sosyal çevrelerinden uzaklaşarak yalnızlık yaşaması ve bu yalnızlık durumu sonucu bakım hizmetlerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Kentlerin fiziksel yapılarının ve sosyal alanlarının yaşlı kişilerin ihtiyaçlarına uygun düzenlenmemiş olması, kamusal yaşama katılımını sınırlayan bir sorun olarak görülmektedir (Taşkesen, 2017). Kırsal alanda yaşamak ise yaşlı kişiler için fiziki ve sosyal altyapı yetersizliği sonucu temel kamusal hizmetlere düzenli erişimin sağlanamamasına, aynı zamanda kente doğru olan göç sürecine katılamayıp yakınlarının göç etmesi sonucu sosyal ve destek ağlarının zayıflaması temel yaşam standartlarına ulaşmada mekânsal dezavantajı oluşturmaktadır (Walsh ve ark., 2012). Her ne kadar kırsal alanlar sosyal ve fiziksel altyapıları sebebiyle insan ve mali kaynaklar açısından sınırlılıkları olsa da bu bölgeler aktif ve sağlıklı yaşlanma bahsini destekleyebilecek sosyal ağlarıyla kendine has çevresel koşullara sahiptir. Bu açıdan kırsal yaşamın dinamikleri, yaşlı kişilerin toplumsal yaşama olan katılımını ve refah düzeylerini pozitif etkileyebilmektedir (Levasseur et al., 2020). Kırsal alanlar, farklı taraflardan aktif yaşlanma üzerine önemli katkılar sağlamaktadır. Topluluk ve ufak temelli yerleşim yapıları, kişiler arasında kuvvetli sosyal bağların oluşmasına imkân tanımakta aynı zamanda yaşlı kişilerin sosyal katılım seviyelerini artırmaktadır. Ayrıca, kırsal alanlarda yaşlı kişilerin edindiği tarımsal bilgi birikimi ve geleneksel tecrübelerin nesiller arası aktarımı, kırsal alanda yaşayan yaşlı kişilerin üretken rollerini sürdürmelerine olanak vermektedir. Kırsal hayat şeklinin fiziksel bağlamda aktif olmayı zorunlu kılması, yaşlı kişilerin gerek fiziksel gerekse zihinsel sağlıklarına katkı sağlamakta ve aktif yaşlanmayı teşvik etmektedir (Nazlı ve ark., 2025).

Kentsel ve kırsal alanlar arasındaki önemli sosyoekonomik ve yaşam tarzı farklılıkları sebebiyle, çevresel faktörlerin iki alan arasında farklı olması olasılığı vardır (Ding ve ark., 2020). Hem kırsal hem de kentsel nüfus yaşlanırken çoğu büyük bölgede, yaşlı kişilerin oranı kırsal alanlarda kentsel alanlara göre daha yüksektir. Ancak istisnai olarak Okyanusya, buna kıyasla Latin Amerika ve Karayiplerde kentsel alanlardaki yaşlı kişilerin oranı kırsal alanlara göre daha yüksektir (BM, 2010). Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD)'ne göre

ülkelerinin çoğunda ise bu durum şöyle, kırsal alanlarda 65 yaş üstü nüfusun oranı kentsel alanlara göre daha yüksektir. Kırsal alanlar ayrıca daha hızlı yaşlanmaktadır. Yaşlanan nüfus, yaşlı dostu altyapı ve hizmetlere ihtiyaç duymaktadır. Yaş çeşitliliğine sahip topluluklar geliştirmek ve kuşaklar arası etkileşimi teşvik etmek, sosyal uyumu ve toplumsal direnci artırabilmektedir (OECD, 2025). Yaşlanmakta olan kişiyi sürekli etki ve iletişim halinde tutarak o kişinin toplum içinde yer edinebilmesinin yanı sıra toplumla ahenk içinde bağ kuracağı tüm koşulları sağlamak önemlidir (Onur, 1995; Akyıldız ve ark., 2018; Akyıldız, 2020). Bu bağlamda, sorun olarak algılanan yaşlı nüfus artışına karşın bu nüfusun özel gereksinimlerinin de olacağı öngörüsüyle yaşlı kişilerin ihtiyaçlarına uygun yaşam kalitesini yükseltebilecek ve sürdürebilecek rahat, güvenli ve sağlıklı bir kent sunulması gerekliliği uluslararası kuruluşların da gündemindedir (Ak Çetin, 2025). Buradan hareketle kentsel yaşam yerlerinde yaşlı kişileri de hayatın içine alan ve herkesin sağlıklı, güvenli ve konforlu bir biçimde yaşam sürmelerine imkan sağlamak üzere düzenlemelere gerek duyulmaktadır. Bu doğrultuda Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından “ Yaşlı Dostu Kentler” kavramı oluşturulmuştur. Proje, WHO’nun kriterlerine göre; bilhassa yaşlı kişilerin aktif yaşlanma kavramıyla beraber sosyal hayata katılımı sırasında karşılarına gelen engel ve kısıtlamaları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. (WHO, 2002). Aktif yaşlanmayı sağlamak için kişilerin sağlıklı ve güvenle yaşamasına imkân sağlayan çevre olarak tanımlanabilen yaş dostu kent; dış ortamlar ve binalar, ulaşım, sosyal katılım, toplumsal yaşama dahil olma ve toplumun yaşlı kişilere saygısı, vatandaşlık görevini yerine getirme ve işgücüne katılım, bilgi edinme ve iletişim ve son olarak toplum desteği ile sağlık hizmetleri olmak üzere sekiz bileşenlerle bir araya gelerek yaşlı kişilerin sağlıklı ve güvenle yaşamasına olanak sağlayacak çevreyi oluşturabilmektedir (WHO, 2007). Türkiye’de de kentsel alanların yaş dostu hale getirilmesine yönelik projeler devlet tarafından da desteklenmektedir. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı tarafından yaş dostu, aktif ve sağlıklı yaşlanmayı destekleyecek alanların yaratılması hedefiyle Yaşlı Destek Programı (YADES) hayata alınmıştır. Program bağlamında, kentlerde tek veya yakınları ile yaşayan, sosyal destek ihtiyacı olan yaşlı kişilerin hayata katılımını sağlamaya yönelik projeler desteklenmektedir. Desteklenen projeler dahilinde yaşlı kişilerin evlerinde yapılan tadilatlar neticesinde konutlar daha erişilebilir hale getirilmekte, oluşturulan gündüz hizmet merkezleri ile yaşlı kişilerin toplumsal hayata katılımı desteklenmekte, çağrı merkezleri sayesinde yaşlı kişiler ve ilgililerin sürekli iletişim halinde kalması sağlanmaktadır. Aslında tüm bu uygulamalar sayesinde yaşlı kişilerin sosyalleştirilmesi sağlanarak insan onuruna yakışır bir şekilde toplumsal hayata katılmaları desteklenmektedir (T.C.Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, 2016; Tamkoç ve Bilgin, 2020).

Yaşlılığı değerlendiren geçmişteki çalışmalar genellikle kentsel nüfusa veya huzurevlerine odaklanmış olup, kentsel ve kırsal alanlardaki yaşlı kişileri aynı araçlarla aynı anda karşılaştıran çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Ding ve ark, 2020). Güney Kore’de Kang ve arkadaşlarının 2006-2020 yılları arasında kırsal ve kentsel alanlarda yaptıkları bir çalışmada depresif belirtilerin görülme sıklığının kentsel alanlarda kırsal alanlara göre anlamlı derece daha yüksek olduğunu ve sağlıklı yetişkinlerde depresif belirtiler riskinin sağlıklı yaşlanma gösterenlere göre daha yüksek olduğunu göstermiştir (Kang ve ark., 2024). İngiltere’nin kırsal ve kentsel bölgesinde yapılan bir çalışmada DSÖ’nün meyve ve sebze tüketimine ilişkin mevcut önerileri göz önünde bulundurularak kırsal kesimdeki katılımcıların, şehirdeki akranlarına göre

önemli derecede sağlıklı bir beslenme düzenine sahip olduklarını bildirmişlerdir (Morgan ve ark., 2000). Buna karşın Song ve ark. ise yaptıkları çalışmada kentsel alandaki yaşlı kişilerin fiziksel olarak aktif, Akdeniz diyetine uygun beslenmeleri, daha az sigara kullanmaları, sosyal olarak ilgili ve yüksek eğitim seviyelerine sahip olmaları gibi bileşenlerle kırsal alandaki yaşlı kişilere kıyasla daha başarılı bir şekilde yaşlandığını göstermektedir (Song ve ark., 2025). ABD ise kırsal alanlardaki yaşlı nüfus oranı kentsel alanlara kıyasla ortalama olarak daha yüksek iken Ulusal Azınlık Sağlığı ve Sağlık Eşitsizlikleri Enstitüsü, kırsal nüfusları; kısmen kırsal olmayan nüfuslara göre daha yüksek zihinsel sağlık sorunları, kronik hastalıklar ve daha kötü genel sağlık sonuçlarına sahip olması gibi nedenlerle bir sağlık eşitsizliği grubu olarak değerlendirmektedir (Smith ve Trevelyan, 2019; Baciu ve ark., 2017; Cohen ve Greaney, 2023). Oysaki, yüksek kaliteli sağlık ve sağlık hizmetlerine erişim sağlıklı yaşlanmanın temel bileşenleridir (Cohen ve Greaney, 2023).

Elde edilen tecrübeler neticesinde kırsal bölgelerde alt yapının onarılıp iyileştirilmesi, eğitim, sağlık, ulaşım gibi sağlık ve sosyal hizmetlerinin artırılması, çevrenin ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı gibi konuların geniş perspektifte değerlendirilmesinin gerekliliğini meydana çıkarmıştır. Yani çağın gerekliliğine göre gelişen ihtiyaçların kentlerdeki gibi kırsalda da karşılanması zorunluluk halini almıştır. Bu konularda kalınan yetersizlik nedeniyle kırdan kente yönlü yaşanan göç kalkınmakta olan ülkeler için büyük tehditler oluşturmaktadır. (Kalkınma Bakanlığı 2018).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yaşlanan nüfusun artışıyla beraber sağlıklı yaşlanmayı geliştirici ve destekleyici çalışmalar, politikalar ve uygulamalar göz ardı edilemez duruma gelmiştir. Son zamanlarda artan yaşlı nüfusa yönelik farkındalık, politikalar ve hizmetler oluşturma konusunda önemli gelişmeler kaydedilmektedir. Fakat bu hizmetlerin bölgesel dağılımında yaşanan ayrılıklar ile nitelik ve ulaşılabilirlik açısından karşılaşılan dengesizlikler, hizmet sunumunun eşitlikçi bir çerçeveden gerçekleşmesini zorlaştırmaktadır. Özellikle kırsal alanlarda hizmet altyapısının güçlendirilmesi, bölgede yaşayan yaşlı kişilerin yaşam kalitesine olumlu yönde katkı sağlayabilir. Yerel yönetim ve sivil toplumun aktif katılımlarıyla beraber kırsal ve kentsel bağlantıları güçlendiren stratejilerin geliştirilmesi ve sürdürülebilmesi, daha etkili şehir planlamasına önemli ölçüde katkı sağlayabilir. Yaşlıların gerek bireysel/toplumsal gerek mekânsal açıdan yaşanan problemleri gidermeye yönelik gerekli önlemlerin bugünden alınmaya başlanması ileride yaşanacak, sağlıksız yaşam süren yaşlı nüfus sorunlarını önlemek açısından önem arz etmektedir. Ayrıca sağlıklı yaşlanmanın desteklenmesi bağlamında planlanacak hemşirelik girişimlerinin yaşanan alana göre farklılıkları göz önünde bulundurarak sağlıkta eşitsizlikleri azaltıp yaşam kalitesini arttırmak mümkün olabilecektir. Tüm bunlarla yaşlı bireylerin bağımsız olarak hayatta var olmaya devam etmeleri mümkün kılınabilir.

KAYNAKLAR

- Ağar A, (2020). Yaşlılarda Ortaya Çıkan Fizyolojik Değişiklikler. Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi, 3(3), s347-254.
- Ak Çetin, D. (2025). Yaşlı Dostu Kent Perspektifinden TR33 Bölgesi Belediyelerinin Uygulamaları. Sosyal, Beşeri Ve İdari Bilimler Dergisi, 8(6), 446-462. <https://doi.org/10.26677/TR1010.2025.1547> Erişim tarihi:18.01.2026
- Akpınar, B. (2025). Kentsel Yoksulluk ve Yaşlılık. Yaşlı Sorunları Araştırma Dergisi, 18(2), 120-129. <https://doi.org/10.46414/yasad.1711656> Erişim tarihi: 18.01.2026
- Akyıldız, N. A. (2018). Doğu ve Batı Mekânsal Tasarım Sürecinin Aktif Yaşlanma Açısından Ele Alınışı. Ankara: Grafiker Yayınları.
- Akyıldız, N. A. (2020). Sürdürülebilir Yaş Dostu Kentler İçin Aktif Yaşlanmanın Değeri. Vankulu Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5, 49-70. <https://izlik.org/JA82JL49NS>
- Avşar, E., Kırık, B., Yolcu, C., Serbest, S.D., ve Arslan, H. (2024). Sağlıklı Yaşlanma Sürecinin Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri Üzerinden İncelenmesi. Türk Hemşireler Derneği Dergisi, 5 (2), 103-116.
- Aydan, S. (2025). Serbest Zamanlarında Yürüyüş Yapan Bireylerin Başarılı Yaşlanma ve Sağlık Çıktılarına İlişkin Algıları (Gönen İlçesi Örneği). Yüksek Lisans Necmettin Erbakan Üniversitesi
- Aydın, M., Aydın Avcı, İ. (2022). Yaşlı kimdir? Temel Kavramlar. M. Kabataş Yıldız (ed.) Geriatrik Psikiyatri, 1. basım. Nobel Akademik Yayıncılık
- Baciu, A., Negussie, Y., Geller, A., ve Weinstein, J. N. (Ed.). (2017). Communities in Action: Pathways to Health Equity. National Academies Press (US). <https://doi.org/10.17226/24624>
- Baltes, P.B. ve Baltes, M.M. (1993). Başarılı Yaşlanma: Davranış Bilimlerinden Bakış Açıları Cilt 4. Cambridge University Press.
- Bilge Sertdemir, H. (2023). Huzurevi Yaşlılarında Fiziksel Aktivite ve Aralıklı Beslenme Uygulamalarının Sağlıklı Yaşlanma Süreçlerine Etkisi. Doktora Tezi Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü
- BM, (2010). World Population Ageing 2009, United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division <https://www.un.org/esa/socdev/documents/ageing/Data/WorldPopulationAgeingReport2009.pdf> Erişim tarihi: 18.01.2026
- BM, (2015). Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri. <https://www.undp.org/sustainable-development-goals> Erişim tarihi: 06.02.2026
- BM, (2019). Ageing <https://www.un.org/en/global-issues/ageing> Erişim tarihi: 20.12.2025
- BM, (2021). Sağlıklı Yaşlanma On Yılı. <https://www.decadeofhealthyageing.org/> Erişim tarih: 15.01.2026

- CDC (National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion (U.S.)). Division of Adult and Community Health. (2015). Healthy Aging at a Glance, 2015: Helping People to Live Long and Productive Lives and Enjoy a Good Quality of Life. <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/43961> Erişim tarihi:15.01.2026
- Cicero (1998), Yaşlılık Dostluk, (çev.): Ayşe Sarıgöllü, Türkan Tunga, İstanbul.
- Cohen, S. A., Greaney, M. L. (2023). Aging in Rural Communities. Current epidemiology reports, 10(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s40471-022-00313-9>
- Çoban, A. İ., İlik, B. (2021) Yaşlılık ve Sosyal Hizmetler. <https://ssyv.org.tr/wp-content/uploads/2021/12/yaslilikvesosyalhizmetler.pdf> Erişim tarihi: 01.01.2026
- Çubukcu, A. T., Çiçek, A. (2023). Yaş Altmış İş Bitmemiş: Yaşlılık. Sosyal ve Beşerî Bilimler Dergisi, 7(2), 491-503.
- Ding, W., Zhang, Y., Zhang, L., Wang, Z., Yu, J., ve Ji, H. (2020). Successful Aging and Environmental Factors in Older Individuals in Urban and Rural Areas: A Cross-Sectional Study. Archives of Gerontology and Geriatrics, 91, 104229. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2020.104229> Erişim tarihi:18.01.2026
- DSÖ, (2005). Sağlıklı Yaşlanma. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/26359655-4ca3-4c46-b0e7-850e81bf2e71/content>
- Flood, M., ve Scharer, K. (2006). Yaratıcılığın Geliştirilmesi: Başarılı Yaşlanma İçin Olasılıklar. Ruh Sağlığı Hemşireliği Konuları, 27 (9), 939-959.
- Frumkin, H., Frank, L. ve Jackson, R. (2004). Kentsel Yayılma ve Halk Sağlığı: Sağlıklı Topluluklar İçin Tasarım, Planlama ve İnşaat (s. xxi+-338)
- Greenberg, M. (1991). American Cities: Good and Bad News About Public Health. Bulletin of the New York Academy of Medicine, 67(1), 17–21
- Harooni, J., Hassanzadeh, A. ve Mostafavi, F. (2014). Influencing Factors on Health Promoting Behavior Among the Elderly Living in the Community. JEHP, 3(1), s. 40
- İsen, B. (2022). “Mekân ve Yaşlılık, İstanbul’un Farklı Bölgelerinde Yaşlılık ve Mekânsal Pratikler”, Toplumsal Değişim Dergisi, 4(1), 28-55.
- İçağasıoğlu Çoban, A., İlik, B. (2021). Yaşlılık ve Sosyal Hizmetler. Sağlık ve Sosyal Yardım Vakfı, Teknik Rapor No: 16-2021/2, Kasım 2021.)
- İlhan, S., Bayrak, F. (2018). Yaşlılık Olgusuna Sosyolojik Bir Yaklaşım. Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kalkınma Bakanlığı, (2018). Kırsal Kalkınma. On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara <https://sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/On-Birinci-Kalk%C4%B1nma-Plan%C4%B1-%C3%96zel-%C4%B0htisas-Komisyonlar%C4%B1-El-Kitab%C4%B1.pdf> Erişim tarihi:18.01.26

- Kang, S. J., Hwang, J., Kim, D., ve Kim, B. (2024). Regional Differences in the Effects of Healthy Aging on Depressive Symptoms: A Korean Longitudinal Study of Aging (2006-2020). *Frontiers in Public Health*, 12, 1256368. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1256368>
- Karakaya, R., Özaydın, T. (2024). Yaşlı Bireylerin Algılanan Sağlık Durumları ve Sağlığı Geliştirme Davranışları ile Yaş Ayrımcılığı Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Hemşirelik Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi
- Karataş, S. (1990), “Yaşlılıkta Yaşam Doyumu ve Etkileyen Etmenler”, Hacettepe Üniversitesi Sosyal Hizmetler Meslek Yüksek Okulu Dergisi, Cilt:8, Sayı:1-2-3, ss. 12-21.)
- Kim, J., Yamada, N., Heo, J., ve Han, A. (2014). Health Benefits of Serious Involvement in Leisure Activities Among Older Korean Adults. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being*, 9(1), 24616.
- Koçak, F., Parlakyıldız, S., ve Gürbüz, B. (2024). Serbest Zaman Aktivitelerine Katılan Yaşlı Bireylerin Başarılı Yaşlanmaya İlişkin Görüşlerinin İncelenmesi. *Sportive*, 7(1), 52-68.
- Konak, A., Çiğdem, Y. (2005). Yaşlılık Olgusu: Sivas Huzurevi Örneği. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 29(1): 23-63.
- Kurtkapan, H. (2018). Kentte Yaşlılık ve Yerel Yönetim Uygulamaları. Nobel Bilimsel Eserler. <https://books.google.com.tr/> Erişim tarihi: 21.12.2025
- Nazlı, A. R., Kapucu, S., ve Gönderen Çakmak, H. S. (2025). Tarım ve Kırsal Yaşam Aktif Yaşlanma İçin Bir Fırsat Olabilir Mi? *Avrasya Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(3), 204-209. <https://doi.org/10.53493/avasyasbd.1687141>
- Onur, B. (1995). Gelişim Psikolojisi. Ankara: İmge Yayınları.
- Özdemir L, Akdemir N. Yaşlı Bireyde Hemşirelik Değerlendirmesi ve Bakım Uygulamaları. In: Arıoğlu S, editör. Geriatri ve Gerontoloji. Ankara: Medikal&Nobel Tıp Kitabevi; 2006: 161-181.
- Özdemirkan, T., Şenlik, Z. B. ve Şimşek, A. Ç. (2020). Sağlıklı Aktif Başarılı Yaşlanma. *Türkiye Sağlık Okuryazarlığı Dergisi*, 1(1), 51-57 <https://saglikokuryazarligidergisi.com/index.php/soyd/article/view/26> Erişim tarihi: 15.01.2026
- Rowe, J. W., ve Kahn, R. L. (1987). Human Aging: Usual and Successful. *Science*, 237(4811), 143-149.
- Rowe, J. W., ve Kahn, R. L. (1997). Successful Aging. *The Gerontologist*, 37(4), 433-440.
- Rowe, J.W. ve Kahn, R.L. (1998). Başarılı Yaşlanma (P.288). Panteon.
- Sağlık Bakanlığı, (2021). Türkiye Sağlıklı Yaşlanma Eylem Planı ve Uygulama Programı 2021-2026, 1242, Ankara.
- Smith, A.S. ve Trevelyan, E. (2019). Kırsal Amerika'daki Yaşlı Nüfus: 2012–2016. (Amerikan Topluluk Araştırma Raporları, s. 21). ABD Nüfus Sayım Bürosu. <https://www.census.gov/library/publications/2019/acs/acs-41.html>

- Smith, K. J., Gupta, S., Fortune, J., Lowton, K., Victor, C., Burke, E., Carew, M. T., Livingstone, E., Creeger, M., Shanahan, P., Walsh, M. ve Ryan, J.M. (2024). Yaşam Boyu Engellilikle İyi Yaşlanma: Kapsamlı Bir İnceleme, *The Gerontologist*, Cilt 64, Sayı 9, <https://doi.org/10.1093/geront/gnae092> Erişim tarihi: 15.01.2026
- Song, K., Luo, J., Cao, X., ve Zhao, Z. (2025). Urban-Rural Differences in the Successful Aging Among Older Adults in China. *PloS one*, 20(3), e0319105. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319105>
- Tamkoç, B., & Bilgin, Ö. F. (2020). Aktif Yaşlanma Bağlamında Yaş Dostu Kent Kavramı. *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 211-226. <https://doi.org/10.21560/spcd.vi.816372>
- Taşkesen, G. C. (2017). Kırsal ve Kentsel Alanlarda Yaşlanma, Yaşlılık ve Yaşlılar: Denizli İli Örneği [Yayımlanmış Doktora Tezi]. T.C. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyoloji Anabilim
- T.C. Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü. Yaşlı Destek Programı YADES 2016 Uygulama ve Usul Esasları <https://www.aile.gov.tr/media/7017/2016-yades-uue-kitap%C4%B1%C4%9F%C4%B1.pdf> Erişim tarihi: 14.02.2026
- Tereci, D., Turan, G., Nergis, K., Öncel, T. ve Arslansoyu, N. (2016). Yaşlılık Kavramına Bir Bakış. *Ufuk Ötesi Bilim Dergisi*, 16(1). 84-116.
- Tessier, A. J., Wang, F., Korat, A. A., Eliassen, A. H., Chavarro, J., Grodstein, F., Li, J., Liang, L., Willett, W. C., Sun, Q., Stampfer, M. J., Hu, F. B., & Guasch-Ferré, M. (2025). Optimal Dietary Patterns for Healthy Aging. *Nature Medicine*, 31(5), 1644–1652. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03570-5> Erişim tarihi: 15.01.2026
- TKB Kırsal Kalkınma Politikaları Komisyonu, (2005). “II. Tarım Şurası Kırsal Kalkınma Politikaları Komisyon Raporu”, s. 8, <https://cdniys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetGaleriFile/330/DosyaGaleri/7223/8.komisyon.pdf> Erişim tarihi:18.01.2026
- Türker, N., Ölçer, H., & Aydın, A. (2016). Yerel Halkın Serbest Zaman Değerlendirme Alışkanlıkları: Safranbolu Örneği. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 49-62.
- UNDP, (2022). “What Are The Sustainable Development Goals?” <https://www.undp.org/Sustainable-Development-Goals>
- UNFPA (2016). Current Overview of Turkey’s Population <https://turkiye.unfpa.org/en/publications/current-overview-turkey%E2%80%99s-population> (Erişim tarihi: 21.12.2025)
- UNFPA, (2016). Ageing. UNFPA, s2-23.
- Üçok, A. (2018). Yaşlılıkta Aktivite Kuramı İle Yaşamdan Kopma Kuramının Karşılaştırılması. *Uluslararası sosyal araştırmalar dergisi*, 11 (56).

Vlahov, D., Galea, S., ve Freudenberg, N. (2005). The urban health "advantage". Journal of Urban Health Bulletin of the New York Academy of Medicine, 82(1), 1–4. <https://doi.org/10.1093/jurban/jti001>

Walsh, K., O'Shea, E., Scharf, T. ve Murray, M. (2012). "Ageing in Changing Community Contexts: Cross-Border Perspectives from Rural Ireland and Northern Ireland". Journal of Rural Studies, 28: 347-357

WHO, (2002). Active Ageing: A Policy Framework. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/67215/WHO_NMH_NPH_02.8.pdf?sequence=1&isAllowed=y

WHO, (2007). Global Age-friendly Cities: A Guide, www.who.int/ageing/publications/Global_age_friendly_cities_Guide_English.pdf Erişim tarihi: 24.12.2025

WHO, (2018). UN Decade of Healthy Ageing. Erişim adresi: https://www-who-int.translate.google/initiatives/decade-of-healthy-ageing?x_tr_sl=en&x_tr_tl=tr&x_tr_hl=tr&x_tr_pto=tc

Wickramasinghe, K., Mathers, J. C., Wopereis, S., Marsman, D. S., ve Griffiths, J. C. (2020). From Lifespan to Healthspan: the Role of Nutrition in Healthy Ageing. Journal of Nutritional Science, 9, e33. <https://doi.org/10.1017/jns.2020.26>

Yapıcıoğlu, A., (2009). "Modernleşme Süreci ve Yaşlılık: İki Yerleşim Yerinde Modernliğin Yaşlılığa Etkileri" Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyoloji Bölümü, Muğla.

Yılmaz, M. S., ve Mermutlu, A. (2023). Yaşlı Bireylerde Yaşlılık Algısı ve Ölüm Kaygısı. Olgu Sosyoloji Dergisi, 2(1), 47-58. <https://doi.org/10.58632/olgusos.1309328>

Yin, Z., Geng, G., Lan, X., Zhang, L., Wang, S., Zang, Y., ve Peng, M. (2013). Status and Determinants of Health Behavior Knowledge Among the Elderly in China: A Community-Based Cross-Sectional Study. BMC Public Health. 13(1). 1-10. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-710>

Zanjani S, Tol A, Mohebbi B, Sadeghi R, Jalyani KN, Moradi A. (2015). Determinants of Healthy Lifestyle and Its Related Factors Among Elderly People. JEducHealth Promot.; 4(1): 103-107.

Zhao, X.. ve Hu, F. (2023). Relationship Between Physical Fitness Anthropometric Measurement and Bone Health in Adult Men. Clinical Nursing Research. 32(4), 733-741. <https://doi.org/10.1177/10547738211060937>

40 YAŞ SONRASI KADINLARDA MENOPOZ VE YAŞLANMA ANKSİYETESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, BURCU TÜRK

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Halk Sağlığı Hemşireliği,
burcuturk462@gmail.com,

ORCID ID: 0009-0004-4343-9301

Dr. Öğr. Üyesi, FİGEN ÇAVUŞOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Halk Sağlığı
Hemşireliği Anabilim Dalı, figen.cavusoglu@omu.edu.tr,

ORCID ID: 0000-0001-9789-2006

ÖZET

Kadın yaşamı çocukluk, ergenlik, cinsel olgunluk, menopoza ve yaşlılık dönemleri olmak üzere beş ana dönemden meydana gelmektedir. Her dönemin kendine özgü hormonal, psikik ve fiziksel farklılıkları bulunmaktadır. Bu dönemlerin kendine has özellikleri olmasına karşın, kadın yaşamındaki belirgin etkileri ile menopoza dönemi en önemli evrelerden biridir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'ne göre 2030 yılına kadar 50 yaş ve üstü kadın sayısının 1,2 milyarı bulacağı ve neredeyse hepsinin geri kalan hayatlarında menopoza ile birlikte yaşayacağı öngörülmektedir. Menopozal geçiş süreci, hormonal değişimler ve yaşlanma olgusuyla birlikte kadınların yaşam kalitesini olumsuz şekilde etkileyebilen pek çok semptomu beraberinde getirmektedir. Menopozal geçiş sürecinde özellikle over foliküler aktivitesinin gerilemesiyle ortaya çıkan östrojen eksikliği, menopoza ilişkili klinik semptomların patogeneğinde merkezi bir rol oynamaktadır. Orta yaş dönemindeki kadınlar tarafından yaşlanmanın belirtisi olarak algılanan menopoza, hazırlık süreci gerektiren kritik bir yaşam olayı olarak görülmektedir. Bu dönemde emeklilik veya farklı nedenlerle iş hayatından uzaklaşmanın tetiklediği iş yaramazlık hissi, yaşlanma anksiyetesi ve depresyon riskini artırabilmektedir. Kültürel etkenler de menopoza karşı olan tutumu şekillendirmektedir ve bu süreç bazıları için travmatik, bazıları içinse doğal ve olumlu bir durum olarak algılanmaktadır. Menopozal geçiş sürecinin sağlıklı bir şekilde yönetilmesinde, kadınların bu evreye yönelik geliştirdikleri tutumlar ve öznel deneyimleri belirleyici faktördür. Olumsuz tutumun süreci daha sancılı hale getirdiği ve semptom yükünü artırdığı vurgulanırken, olumlu tutumun menopozal şikayetlerin yaşam kalitesi üzerindeki etkisini hafifletmede kritik bir rol oynadığı saptanmıştır. Premenopozal süreçte yaşam kalitesinin muhafazası ve iyileştirilmesi, sağlık hizmetlerinin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bu dönemdeki kadınların yaşam kalitesini şekillendiren belirleyicilerin saptanması ve elde edilen verilerin kadın sağlığını geliştirme stratejilerine entegre edilmesi temel bir sorumluluk teşkil etmektedir. Kadının ve ailesinin eğitim yoluyla güçlendirilmesi ve desteklenmesi, sürecin doğal bir gelişimsel evre olarak algılanmasına olanak tanır.

Anahtar Kelimeler: Kadın, menopoza, yaşlanma anksiyetesi

MENOPAUSE AND AGING ANXIETY IN WOMEN OVER 40

ABSTRACT

Women's lives consist of five main stages: childhood, adolescence, sexual maturity, menopause, and old age. Each stage has its own unique hormonal, psychological, and physical differences. Although each stage has its own characteristics, the menopausal stage is one of the most important stages due to its significant effects on women's lives. According to the World Health Organization (WHO), the number of women aged 50 and over is expected to reach 1.2 billion by 2030, and almost all of them will live with menopause for the rest of their lives. The menopausal transition, along with hormonal changes and aging, brings with it many symptoms that can negatively affect women's quality of life. Estrogen deficiency, which occurs during the menopausal transition, particularly due to the decline in ovarian follicular activity, plays a central role in the pathogenesis of menopause-related clinical symptoms. Perceived by middle-aged women as a sign of aging, menopause is seen as a critical life event requiring preparation. During this period, feelings of uselessness triggered by retirement or withdrawal from working life for other reasons can increase the risk of aging anxiety and depression. Cultural factors also shape attitudes toward menopause, and this process is perceived as traumatic for some and natural and positive for others. Women's attitudes toward this stage and their subjective experiences are decisive factors in the healthy management of the menopausal transition process. It has been found that a negative attitude makes the process more painful and increases the burden of symptoms, while a positive attitude plays a critical role in mitigating the impact of menopausal complaints on quality of life. Maintaining and improving quality of life during the premenopausal process is among the primary goals of health services. Identifying the determinants that shape the quality of life of women during this period and integrating the data obtained into strategies for improving women's health is a fundamental responsibility. Empowering and supporting women and their families through education allows the process to be perceived as a natural developmental stage.

Keywords: Women, menopause, anxiety about aging

1. GİRİŞ

Kadın yaşamı çocukluk, ergenlik, cinsel olgunluk, menopoza ve yaşlılık dönemleri olmak üzere beş ana dönemden meydana gelmektedir. Her dönemin kendine özgü hormonal, psikik ve fiziksel farklılıkları bulunmaktadır. Bu dönemlerin kendine has özellikleri olmasına karşın, kadın yaşamındaki belirgin etkileri ile menopoza dönemi en önemli evrelerden biridir (Özcan ve Oskay, 2013). Yunanca bir kelime olan klimakteriyum, kadın yaşamındaki önemli bir evreyi tanımlamaktadır ve “merdiven basamağı” anlamına gelmektedir. Klimakteriyum, kadınların cinsel olgunluk çağından, over fonksiyonlarındaki gerilemeye bağlı üreme yeteneğinin kayb olduğu çağa geçtiği bir yaşam dönemidir. Klimakterik dönemdeki en belirgin olay, menstrüasyonun kesilmesi yani menopoza’dır. Klimakteriyum ve menopoza kelimeleri, yanlış olmasına rağmen eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Menopoza genellikle 40-50 yaşlarında bir dönemde ortaya çıkar ve klimakterik dönem içinde görülmektedir (Taşkın, 2020). Klimakterik dönem ise 40-45 yaşlarında başlayıp 65 yaşa kadar devam etmektedir. Bu dönem premenopoza, menopoza, perimenopoza, postmenopoza aşamalarını içermektedir (Demirci, 2015; Taşkın, 2020).

Menopoza, eski Yunanca men (ay) ve pausis (durmak) sözcüklerinden köken almaktadır (Yavan ve Köprülü, 2022). Overlerin üreme fonksiyonunun azalması ve kaybı sonucu menstrüasyon kanamalarının durduğu zaman olarak tanımlanmaktadır (Avcı Başboğa, 2023). Menopoza terimi aslında kadının menstrüasyon döngüsünün kalıcı olarak kesildiği süreci ifade etmekle birlikte; bu dönemin merkezindeki olay doğurganlık yeteneğinin sona ermesi ve reproduktif döngünün bitişidir (Coşkun, 2012).

Biyolojik yaşlanmanın kaçınılmaz bir evresi olan menopoza, genel olarak 45 ile 55 yaşları arasında gerçekleşmektedir. Ancak bu kronolojik eşik; etnik ve coğrafi faktörlerin etkisiyle toplumlara göre değişmekte olup Güney Asya’daki kadınlarda 48 ile daha erken bir seyir izlerken, Avrupa ve Avustralya’da 50’ye, Japonya’da ise 52’ye kadar yükselmektedir (Karakuş Selçuk ve Dişsiz, 2023). Dünya çapındaki menopoza yaşı ortalaması ise 50-51’dir (Royal College of Obstetricians and Gynaecologists (RCOG), 2020). Her geçen gün menopoza giren kadın sayısında artış görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)’ne göre 2030 yılına kadar 50 yaş ve üstü kadın sayısının 1,2 milyarı bulacağı ve neredeyse hepsinin geri kalan hayatlarında menopoza ile birlikte yaşayacağı öngörülmektedir (World Health Organization, 1996). Türkiye Nüfus Sağlığı Araştırması (TNSA) 2018 verileri incelendiğinde Türkiye’de menopoza dönemindeki kadınların %45,1’inin 48-49 yaş aralığında olduğu belirtilmektedir. Yaşın artması ile de beraber menopoza girme oranlarında artış görülmüştür (TNSA, 2018). Menopozun zamanlaması; çevresel, demografik, genetik faktörlere ve yaşam tarzına bağlı olarak değişen bir özelliktir (Gold ve ark., 2013). Menopoza giriş yaşı; doğum sayısına, ırka, eğitime, alkol kullanımına, fiziksel özelliklere, sosyo-ekonomik duruma, oral kontraseptif kullanımına, menarş yaşına ve son gebelik tarihine bağlı olarak değişmemekte ve bunlarla ilişkilendirilmemektedir. Bunların dışında sigara tüketiminin kesin bir şekilde folikül tükenmesini hızlandırdığından ötürü menopoza giriş yaşını erkene çektiği ortaya konmuştur (Taşkın, 2020).

Menopoza öncesi süreçte östrojen seviyesindeki düşüş, beraberinde vazomotor belirtiler, duyu durumu dalgalanmaları (anksiyete, depresyon) ve cinsel işlev bozuklukları gibi sağlığı doğrudan etkileyen semptomları getirmektedir (Erbil, 2018). Bu biyolojik değişimlere doğurganlığın

yavaş yavaş sona ermesi, değişen beden algısı ve yaşlanma kaygısı gibi psikososyal faktörlerin eklenmesi kadınların genel yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Bener ve Falah, 2014). Bu metinde menopoza henüz girmemiş olan kadınların yaşlanma anksiyetesi bu bağlamda incelenmiştir.

2. MENOPOZA GEÇİŞ VE YAŞLANMA ANKSİYETESİ

Menopozdan 2-6 yıl önceki devre olan premenopoz, klimakterik değişimin ilk halkasını oluşturmaktadır (Coşkun, 2012). Menopozal geçiş süreci, hormonal değişimler ve yaşlanma olgusuyla birlikte kadınların yaşam kalitesini olumsuz şekilde etkileyebilen pek çok semptomu beraberinde getirmektedir (Aparicio ve ark., 2017). Menopozal geçiş sürecinde özellikle over foliküler aktivitesinin gerilemesiyle ortaya çıkan östrojen eksikliği, menopozla ilişkili klinik semptomların patogeneğinde merkezi bir rol oynamaktadır (Koysombat ve ark., 2024). Bu aşamadaki kadınların büyük bir çoğunluğu, yaşlanma süreci ve endokrin değişimlerin bir sonucu olarak yaşam kalitelerini önemli ölçüde etkileyen çeşitli semptomlarla karşılaşmaktadır (Aparicio ve ark., 2017). Bu dönemde menstrüal siklusun düzeni bozulmakta, disfonksiyonel kanamalar gözlenmekte ve anovülator döngülere bağlı olarak fertilité potansiyeli azalmaktadır ancak tamamen sona ermemektedir (Aktaş Demir, 2023; Kadayıfçı 2006; Tortumluoğlu ve Erci, 2010). En yaygın görülen semptomlar; sıcak basması ve gece terlemesi gibi vazomotor belirtiler, kas-iskelet sistemi şikâyetleri, uyku düzensizlikleri ve duygudurum dalgalanmalarıdır. Bunlara ek olarak libido kaybı, ürogenital atrofi, mesane irritabilitesi, dispareni, kardiyovasküler risk artışı gözlenebilmektedir (Converso ve ark., 2019; Mehaseb ve ark., 2018). Fizyolojik menopoz süreci kemik erimesi, metabolik bozukluklar ve kalp-damar hastalıkları gibi sistemik sorunların ortaya çıkışını hızlandırırken, ilerleyen yaşla birlikte kanser prevalansında da artış görülmektedir (Dişli Çetinçay, 2023). Bhat ve arkadaşları (2020) tarafından perimenopozal dönemdeki kadınlar üzerinde gerçekleştirilen çalışmada, katılımcıların en yaygın şikâyetleri arasında eklem-kas ağrıları (%64,41) ve sinirlilik (%64,41) yer almaktadır. Bunu anksiyete (%62,71) ve sıcak basmaları/terleme (%61) gibi vazomotor semptomlar takip etmektedir. Ayrıca kadınların yarısından fazlası (%50,85) hem fiziksel hem zihinsel tükenmişlik yaşadığını belirtirken; depresif ruh hali (%47,46), uyku bozuklukları (%44,07) ve kardiyak yakınmalar (%42,37) diğer önemli bulgular olarak kaydedilmiştir. Ürogenital ve cinsel sorunlar (cinsel isteksizlik %23,73; idrar torbası şikâyetleri %22,03; vajinal kuruluk %13,56) ise katılımcılar tarafından daha az oranda rapor edilen diğer semptomlardır. Süt ve Küçükkaya (2018) tarafından menopozun farklı evrelerindeki 225 kadının dâhil edildiği bir araştırmada ise menopozal geçiş süreci ilerledikçe cinsel yaşam kalitesinin belirgin şekilde azaldığı saptanmıştır.

Semptomlar her kadında aynı şekilde görülmemekle birlikte, şiddeti ve klinik kombinasyonları açısından çeşitlilik göstermektedir (Soules ve ark., 2001). Bu süreç bazı kadınlarda şiddetli yakınmalarla karakterize iken, bazılarında semptomlar oldukça hafif seyretmekte veya hiç ortaya çıkmamaktadır (Ertekin Pınar ve ark., 2015; Kalarhudi ve ark., 2011). Genellikle hafif seyirli başlayan bu semptomlar, hormonal yetersizliğin kalıcı hale gelmesi ve amenore süresinin uzamasıyla birlikte daha belirgin bir hal almaktadır (Santoro ve ark., 2021). Bu noktada, menopoz ve yaşlanma sürecinin eş zamanlı olarak ilerlemesi, klinik belirtilerin hangi süreçten kaynaklandığı konusunda ayırım yapmayı zorlaştırmaktadır (Nelson, 2008).

Türkiye’de yapılan bir araştırmada, sekiz yıl ve üzeri eğitim alan, aktif çalışma hayatına devam eden ve aile içi huzura sahip olan kadınların menopoza semptom puanlarının diğerlerine göre anlamlı düzeyde daha düşük olduğu belirlenmiştir (Tokuç ve ark., 2006). Bu değişkenliğin temelinde kadınların menopoza dönüşümleri anlamlandırma ve algılama biçimleri yatmaktadır. Bazı kadınlar bu değişimleri tıbbi müdahale gerektiren bir sorun olarak algılayarak, bazıları doğal olarak karşılamakta ve değişimlerden anlamlı düzeyde etkilenmemektedir (Çoban ve ark., 2008).

Fizyolojik bir olay olarak menopoza östrojen seviyesindeki değişikliklerle karakterize iken psikofizyolojik olarak anksiyeteyi de içinde barındıran çeşitli semptomların eşlik ettiği bir süreçtir (Balkan, 2023). Anksiyete esas olarak sürekli hormonal salınımının olduğu premenopoz ve perimenopoz evrelerinde görülmektedir (Garcia-Rios ve ark., 2017). Kadınların menopoza geçiş döneminde depresyona girme olasılığı normal döneme göre 2 ila 4 kat daha fazladır; bu da onları anksiyete ve depresyon açısından erkeklere göre daha riskli bir konuma getirmektedir. Bu riskli eğitim düzeyinin düşüklüğü, ekonomik zorluklar, sosyal izolasyon gibi çevresel unsurların yanı sıra sigara kullanımı, eşlik eden kronik hastalıklar, egzersiz eksikliği gibi değişkenler tetiklemektedir. Menopoza süreçte yaşanan psikolojik değişiklikler, kişinin geçmiş yaşam deneyimleri ve güncel yaşanan sorunlar sebebiyle de olabilir (Grochans ve ark., 2018). Dökmen’in menopozun farklı aşamalarında (öncesi, geçiş süreci ve sonrası) bulunan kadınların beden algısı ve psikolojik sağlık açısından karşılaştırılması amacıyla yapılan çalışmada kadınların ruh sağlığı üzerindeki temel belirleyicinin menopoz evrelerinden ziyade, eğitim düzeyi, çalışma durumu ve ekonomik koşullar gibi sosyodemografik değişkenler olduğunu ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar sosyokültürel görüşü de desteklemektedir (Dökmen, 2009). Blumel ve arkadaşlarının (2004) klimakterik dönemdeki kadınlarda vazomotor şikayetler ile psikolojik semptomlar arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmada vazomotor semptom tecrübe eden premenopozal kadınların belirgin düzeyde daha yüksek depresyon ve anksiyete prevalansı sergilediğini ortaya koymuşlardır.

Kadının aile dinamikleri, eş ve çocuklarla olan ilişki kalitesi, sosyal katılım düzeyi ve gelecek beklentileri gibi unsurların yanı sıra, içinde yaşanılan toplumun menopoza yüklediği anlamlar da yaklaşmakta olan menopoz dönemine karşı kadının davranışlarını etkilemektedir (Ergül ve Temel, 2006). Kültürel etkenler menopoza karşı olan tutumu şekillendirmektedir ve bu süreç bazıları için travmatik, bazıları içinse doğal ve olumlu bir durum olarak algılanmaktadır (Jamali, 2016). Yapılan çalışmalarda menopoza karşı olumlu tutum sergileyen kadınların hem semptomları daha hafif şekilde yaşadığı hem de cinsel yaşam kalitelerinin daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Erbaş ve Demirel, 2017; Tümer ve Kartal, 2018).

2.1.YAŞLANMA ANKSİYETESİ

Yaşlanma anksiyetesi; bireyin psikolojik, sosyal ve fiziksel refahını doğrudan etkileyen, ilerleyen yaşla beraber beliren kayıp ve tehdit korkularının yansıması olan bir kaygı türüdür (Kalaycı, 2021). Bir başka tanıma göre psikolojik, fiziksel, sosyal ve kişilerarası kayıplar da dâhil olmak üzere bu sürece dair olumsuz duygu ve korkuların bütünü ifade etmektedir (Lasher ve Faulkender, 1993). Genç yetişkinlere oranla orta yaş grubunda ve erkeklerle karşılaştırıldığında ise kadınlarda daha belirgin seyretmektedir (Barrett ve Robbins, 2008; Oh ve Park, 2022). Yaşlanma anksiyetesini sağlık düzeyi, beden imajındaki değişimler, cinsel

işlevsellik, ırk, sosyoekonomik statü gibi birçok faktör şekillendirmektedir (Barrett ve Robbins, 2008; Cameron ve ark., 2018; Fernández-Jiménez ve ark., 2020). Günümüzde beklenen yaşam süresinin uzaması ve yaşlı nüfusta kadınların belirgin bir ağırlığa sahip olması, yaşlılık olgusuna dair pek çok sorgulamayı beraberinde getirmektedir (Antunes ve ark., 2024).

Kadınlarda 40 yaş sonrası menopoza belirtilerinin yavaş yavaş görülmeye başlamasıyla birlikte yaşam sonu dönem anlamına gelen menopoza algısı beraberinde yaşlanmaya dair anksiyeteyi de getirebilmektedir. Premenopoz döneminde depresyon prevalansı %5,8-11 olarak belirtilmekle beraber (Llaneza ve ark., 2012) kadınların toplumdaki konumu, aile, iş ve sosyal roller arasında yaşadığı çatışmalar, bakım verme yükümlülükleri bazı toplumlarda daha belirgindir ve bunlar stres hassasiyetini artıran yapısal unsurlardır. Orta yaş dönemindeki kadınlar tarafından yaşlanmanın belirtisi olarak algılanan menopoza, hazırlık süreci gerektiren kritik bir yaşam olayı olarak görülmektedir. Bu dönemde emeklilik veya farklı nedenlerle iş hayatından uzaklaşmanın tetiklediği işe yaramazlık hissi, yaşlanma anksiyetesi ve depresyon riskini artırabilmektedir. Bu bağlamda değişen toplumsal rollere uyumu kolaylaştırmak ve ruh sağlığını korumak adına sağlıklı yaşam davranışlarının benimsenmesi stratejik bir öneme sahiptir (Altıparmak ve Kutlu, 2009; Tambağ, 2010). Buna ek olarak, günümüzde kadınların iş gücüne girmeleri ve çalışırken diğer tüm rollerini de yerine getirmeleri, üzerlerindeki yükü daha da ağırlaştırmaktadır. Düşük istihdam ve emeklilik hakları, yaşlı kadınlarda daha fazla ekonomik sorun, sosyal ortamlara daha az katılım ve daha fazla zihinsel sorun, orta yaşlı kadınlarda yaşlanma korkusunu artırmaktadır (Kiskac ve ark., 2024).

Klimakterik dönemde emosyonel dengeyi etkileyen faktörlerden biri de orta yaş dönemidir. Menopozal semptomların etiyolojisinde gonadal ve pitüiter hormon seviyelerindeki dalgalanmalar birincil faktör olarak kabul edilse de bu sürecin karmaşık stresörleri barındıran orta yaş dönemiyle eş zamanlı gerçekleşmesi yakınmaları artırmaktadır. Bu dönemde kadınlar; ergenlik çağındaki çocukların gelişimsel çatışmaları, yaşlanan ebeveynlerin bakım sorumluluğu ve sosyal çevredeki kayıplar gibi çok boyutlu psikososyal zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca, eşinin yaşadığı orta yaş krizinin getirdiği değişimler de eklendiğinde kadını fiziksel ve emosyonel açıdan yoğun bir stres yükü altına sokmaktadır (Taşkın, 2020).

Orta yaşlı kadınlarda klimakterik dönemle birlikte yaşlanmaya dair kaygıların artması ve kadınlık algısındaki değişimler, üreme kapasitesindeki değişikliklerle birlikte partneriyle olan ilişkisini de gözden geçirmeyi beraberinde getirmektedir (Reyhani ve ark., 2018). Kadın kimliğinin temel dinamikleri olarak kabul edilen cinsel çekicilik ve doğurganlığın orta yaş grubundaki kadınlarda azalması durumu evlilik ilişkilerini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu süreçler kadınların orta yaş döneminde erkeklere oranla daha yüksek bir psikopatolojik prevalans sergilemelerine neden olmaktadır (Butterworth ve ark., 2020; Wilmoth ve ark., 2015). Carrard ve arkadaşları (2021) tarafından 45-65 yaş aralığındaki 331 kadınla yürütülen çalışmada beden algısı, psikolojik iyi oluş ve yaşlanmaya bağlı değişimlerle başa çıkma davranışları arasındaki ilişkiler analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular; kadınların düşük vücut memnuniyeti, dış görünüme verilen önem ve belirgin yaşlanma anksiyetesinin daha yüksek depresyon puanları ile ilişkilendirildiğini göstermektedir. Vazomotor semptomlar ile duygu durumu arasında doğrusal bir etkileşim olduğu, depresif belirtilerin sıcak basması gibi yakınmaların şiddetini ve sıklığını artırabildiği vurgulanmaktadır (Chedraui ve ark., 2009). Sis

(2010) tarafından yapılan araştırmada, katılımcıların %41,8'inin bu süreci 'üretkenliğin sona ermesi' olarak nitelendirdiği, %60,8'inin ise 'yaşlandığını hissetme' olarak algıladıkları belirlenmiştir. Bu durumun yaşlılık sürecine geçişle ilgili kaygılardan kaynaklandığı düşünülebilir.

Menopoza yönelik algı ve tutumlar, sosyokültürel bağlamlara, hatta aynı toplumun alt kültürlerine göre de farklılıklar sergilemektedir. Batı toplumlarında gençliğin bir ideal olarak yüceltilmesi, menopoza döneme yönelik negatif bir algı geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır. Bu durum kadınların menopoza güzellik ve üretkenliğin sonu olarak kodlamalarına neden olarak yaşlanma anksiyetesini tetikleyebilmektedir. Ayrıca, kadının toplumsal statüsünün doğurganlık üzerinden tanımlandığı kültürlerde, bu yetinin kaybı menopoza karşı tutumların daha da olumsuzlaşmasına yol açmaktadır. (Dökmen, 2009; Taşkın, 2020; Tortumluoğlu, 2004). Türk kadınlarının %90'ından fazlası menopoza "gençliğin sona ermesi, yaşlı hissetme, dişiliği kaybetme" gibi olumsuz çağrışımlar olarak tanımlamaktadır. Bazı diğer kültürlerde ise menopoza birlikte kadınlara duyulan saygıda artış olabilmekte, bu kadınlar çocuklarıyla ilgilenme sorumluluklarından kurtulmaktadır. Çinli kadınlar ise menopoza "yeniden doğuş" olarak nitelendirmekte ve bu olumlu tutum nedeniyle semptomları tedavi etme ve ilaç kullanma oranında azalma görülmektedir (Balkan, 2023). Koç ve Sağlam (2008) tarafından yürütülen araştırmada, kadınların menopoza ilişkin tutumlarının çok boyutlu bir görünüm sergilediği saptanmıştır. Katılımcıların yarısından fazlası (%50,4) menopoza genel olarak olumsuz bir olay şeklinde nitelemese de, büyük bir çoğunluğu (%67,6) bu evrenin çeşitli sorunlarla karakterize bir dönem olduğu görüşünde birleşmiştir. Ayrıca, kadınların %44,2'sinin menopoza yaşlanmanın temel bir göstergesi olarak kabul etmesi, sürecin kronolojik yaş algısı üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır.

Menopozal dönemdeki değişimlere karşı hazırlıklı olunması, şikâyetlerin şiddeti ve yaşam kalitesi kadınların menopoza sürecine yönelik tutumları açısından önem arz etmektedir (Gönenç, 2019). Menopozal geçiş sürecinin sağlıklı bir şekilde yönetilmesinde, kadınların bu evreye yönelik geliştirdikleri tutumlar ve öznel deneyimleri belirleyici faktördür. Olumsuz tutumun süreci daha sancılı hale getirdiği ve semptom yükünü artırdığı vurgulanırken, olumlu tutumun menopozal şikâyetlerin yaşam kalitesi üzerindeki etkisini hafifletmede kritik bir rol oynadığı saptanmıştır (Converso ve ark., 2019; Fışkın ve ark., 2017; Mehaseb ve ark., 2018).

3. MENOPOZ VE YAŞLANMA ANKSİYETESİ BAĞLAMINDA HALK SAĞLIĞI HEMŞİRELİĞİ YAKLAŞIMLARI

Kadınların üreme çağından itibaren menopoza hazırlanması ile optimum sağlığın korunup geliştirilmesi hemşirenin görevleri arasındadır (Sel ve ark., 2023). İsveçli kadınlarla yapılan bir araştırmada, kadınlar premenopoz döneminde doğru bilgiye ulaşamamaları ve sistemdeki eksiklikler nedeniyle kendilerini hazırlıksız hissettiklerini ve menopoza yeterince hazırlanamadıklarını ifade etmişlerdir. Katılımcılar, sağlık sistemi içerisinde hangi birimlerden destek alacakları konusundaki belirsizliğin yanı sıra farklı sağlık profesyonellerinden aldıkları birbiriyle örtüşmeyen bilgilerin olduğunu da belirtmişlerdir. Çalışmaya katılan kadınların menopoza bakış açısı olumlu ve olumsuz duyguları bir arada barındırır da çoğunlukla menopoza yaşlanma ile eşdeğer tutmuşlardır. Kadınlar menopoz öncesi dönemde uyum süreçlerini güçlendirmek adına sağlık profesyonellerinden nitelikli bilgi alma ve menopoz

bakım hizmetlerine kolayca erişim sağlama taleplerini de dile getirmişlerdir (Lycke ve Brorsson, 2023). Dünya genelinde kadın sağlığı ve hastalıkları alanında özelleşmiş menopoza hemşireliği uygulamaları yaygınken, ülkemizde bu uzmanlık alanı henüz istenilen yaygınlığa ulaşmamıştır. Uzman menopoza hemşiresi; menopozal süreçteki kadına yönelik bakım hizmetlerinde multidisipliner bir ekibe liderlik etme, kapsamlı eğitim ve danışmanlık sunma, klinik uygulama becerilerini sergileme ve sürekli profesyonel gelişimi sağlama gibi kritik roller üstlenmektedir (Sel ve ark., 2023).

Menopoza geçiş döneminde kadının menopoza dönemine hazırlanması, bu döneme uyum ve kabulün sağlanması; toplum sağlığını korumak ve geliştirmek kapsamında halk sağlığı hemşiresinin doğrudan görevleri arasında yer almaktadır. Premenopozal dönemde östrojen eksikliğinden kaynaklı olarak görülen fiziksel ve ruhsal değişimler kadınların yaşamında çeşitli sağlık sorunlarını beraberinde getirmektedir. Menopozal semptomlar ve bireysel deneyimler; sürecin başlangıç yaşı, kadının genel sağlık profili gibi değişkenlere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir. Bu bağlamda kişiselleştirilmiş bakım modellerinin uygulanması oldukça önemlidir. Sunulacak sağlık eğitimlerinde bu süreçte yaşanabilecek belirtilerin, nedenlerinin ve etkin baş etme stratejilerinin anlatılması ve edinilen bu bilgilerin davranışa dönüşebilmesi için kadının desteklenmesi önerilmektedir. Bu döneme özgü semptomların erkenden tanınması, planlı eğitim ve danışmanlık hizmetleri aracılığıyla kadınlara sağlık bilinci kazandırılması, bireylerin bu süreçle başa çıkma becerilerini geliştirmede kritik öneme sahiptir (Sel ve ark., 2023; Sis Çelik ve Pasinlioğlu, 2013; Yurdakul ve ark., 2007).

Hemşire premenopozal şikâyetleri olan bir kadının öncelikle klimakterik süreç hakkında mevcut bilgi düzeyini değerlendirmelidir. İkinci olarak kadını stres faktörü oluşturan yaşam olaylarını ifade etmesi yönünde teşvik ederek semptomları ve mevcut durumu daha gerçekçi bir perspektifle anlamlandırmasına yardım etmelidir. Sürecin son basamağında ise bireyin stresle baş etme mekanizmaları gözden geçirilmelidir (Taşkın, 2020). Hemşirenin birincil sorumluluğu, kadının bu süreci yaşamın doğal ve yönetilebilir bir evresi olarak algılamasını sağlamak ve öz-bakım gücünü artırmaktır. Menopozun fizyolojik doğasına ilişkin farkındalık kazandırmanın yanı sıra; sağlıklı beslenme, tütün kullanımının sonlandırılması, düzenli fiziksel aktivite, ideal kilonun korunması, uyku hijyeni, cinsel sağlığın sürdürülmesi, vazomotor değişikliklerle baş etme, kişisel değer ve benlik saygısının sürdürülmesi gibi konularda kapsamlı destek programları yapılandırılmalıdır. Ayrıca artan kardiyovasküler riskler ve düzenli sağlık taramalarının önemi konularında sunulan profesyonel rehberlik, menopozal geçişin olumsuz etkilerini minimize etmede oldukça önemli bir yere sahiptir (Hotun Şahin, 2017; Sel ve ark., 2023). Ayrıca kadının orta yaş dönemini nasıl algıladığı, onu etkileyen kültürel özellikleri, cinselliğine ilişkin düşünceleri, menopozla ilişkin bilgisi, fiziksel ve emosyonel değişiklikler de değerlendirilmelidir (Taşkın, 2020).

Menopozal dönem, beraberinde getirdiği fiziksel ve psikososyal dönüşümler nedeniyle yalnızca kadının sağlığını etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda aile ve toplumu da etkileyen bütüncül bir süreçtir (Tortumluoğlu, 2004). Menopoz her ne kadar fizyolojik bir süreç olsa da aile içi dinamikleri olumsuz etkileyebilen ve yaşam kalitesini düşürebilen yapısı nedeniyle hemşirelerin hassasiyetle yaklaşması gereken bir evredir. Kadının ve ailesinin eğitim yoluyla güçlendirilmesi ve desteklenmesi, sürecin doğal bir gelişimsel evre olarak algılanmasına olanak

tanır. Bu noktada hemşireler kadınları biyopsikososyal ve kültürel bir bütünlük içinde ele almalı ve risk altındaki bireyleri erken dönemde belirleyerek profesyonel bir bakım sunmalıdır (Ertekin Pınar ve ark., 2015; Yurdakul ve ark., 2007). Premenopozal evrede fertilité kapasitesi önemli ölçüde azalsa da gebelik riskinin bütünüyle ortadan kalkmadığı da unutulmamalıdır. 40 yaş üzerindeki kadınlarda intrauterin araç ve oral kontraseptif kullanımıyla ilgili klinik kısıtlamalar veya risk faktörleri göz önünde bulundurulmalı; bireyin sağlık profiline uygun alternatif korunma yöntemleri konusunda çiftlere kapsamlı bir aile planlaması danışmanlığı da sunulmalıdır (Taşkın, 2020).

Premenopozal süreçte yaşam kalitesinin muhafazası ve iyileştirilmesi, sağlık hizmetlerinin öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır. Bu dönemdeki kadınların yaşam kalitesini şekillendiren belirleyicilerin saptanması ve elde edilen verilerin kadın sağlığını geliştirme stratejilerine entegre edilmesi temel bir sorumluluk teşkil etmektedir. Bu bilgi aktarımı kadının yaşayacağı menopoza ilişkin semptomların yarattığı anksiyete üzerinde tampon bir etki yaratarak baş etme becerilerini güçlendirmektedir (Yurdakul ve ark., 2007). Kadın sağlığı hizmetlerinde menopoza odaklı kliniklerin yetersizliği, bu hassas dönemin yönetiminde önemli bir boşluk yaratmaktadır. Bu birimlerde sunulan bakım, hekim, hemşire, psikolog, fizyoterapist, diyetisyenden oluşan multidisipliner bir sağlık ekibi tarafından planlanmalı ve hayata geçirilmelidir (Hotun Şahin, 2017).

4. SONUÇ

Bu derlemede premenopozal dönem, görülen spesifik semptomlar ve yaşlanma anksiyetesi ile ilişkisi ele alınmıştır. Menopoz, hormonal değişimlerin, sosyokültürel beklentilerin etkileşimiyle kadınların ruhsal durumlarını fazlaca etkileyen bir süreçtir. 40 yaş sonrası dönem, yalnızca biyolojik bir geçiş olmamakla beraber aynı zamanda yaşlanma ve menopozun beraber yaşandığı psikososyal bir süreçtir. Bu dönemle beraber yaşlanma anksiyetesinin daha belirgin hale geldiği ve sonucunda benlik algısı, yaşam kalitesi, psikososyal uyum noktasında olumsuz sonuçlar doğurabildiği görülmektedir. Kadınların yaşlanmayı genellikle sosyal roller ve üretkenlik açısından değerlendirmesi, menopoza sürecin belirsizliklerle ilişkilendirilmesine yol açmaktadır.

Yapılan literatür taraması sonucunda yaşlanma anksiyetesi ve menopoza dönemdeki semptomlar arasında güçlü bir bağ olduğu görülmektedir. Bu ikisi arasındaki ilişki bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Toplum sağlığı uzmanları ve hemşireler aracılığıyla yürütülecek olan sistematik programlar, bu sürecin yönetiminde önemli bir noktada yer almaktadır. Farkındalık çalışmalarının artırılması ve koruyucu ruh sağlığı hizmetlerinin yaygınlaştırılması gerekmektedir. Gelecekteki çalışmaların farklı kültürel yapılarda yaşayan kadınların yaşlanma anksiyetesini azaltmaya yönelik spesifik müdahaleler olması önerilmektedir ve bu alandaki bilgi birikimini de zenginleştirecektir. Bu çalışmaların sadece medikal tedavileri kapsamayıp yaşlanma anksiyetesini iyileştirecek bilişsel davranışçı terapileri, psikososyal müdahaleleri kapsamaları önemlidir. Sağlık profesyonellerinin menopoza dönemi tedavi edilmesi gereken bir hastalık yerine yönetilmesi gereken doğal bir yaşam evresi olarak görmesi ve bireylere bu şekilde aktarması, kadınların bu dönemi daha bilinçli ve yüksek bir yaşam kalitesi ile deneyimlemelerine olanak sağlayacaktır.

5. KAYNAKÇA

- Aktaş Demir, S., Menopozda Kontrasepsiyon Danışmanlığı, Şahin N.H., Kaydırak M.M. (Ed.), *Menopoz*. (s.127-142). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Altıparmak, S., Kutlu, A.K. 15–49 Yaş Grubu Kadınlarda Sağlığı Geliştirme Davranışları ve Etkileyen Faktörler, *Taf Prev Med Bull*, 8(5), 421-426, 2009.
- Antunes, D.C.R., Godoflete, M.C.S., De Oliveira Lopes, I., De Marco Rodrigues, A., De Oliveira Peixoto, M.C., Dos Santos, G.A. Perceptions of Elderly Women about Their Corporeality in the Aging Process, *Aracê*, 6(1), 36-62, 2024.
- Aparicio, V.A., Borges-Cosic, M., Ruiz-Cabello, P., Coll-Risco, I., Acosta-Manzano, P., Špacírová, Z. Association of Objectively Measured Physical Activity and Physical Fitness with Menopause Symptoms, the Flamenco Project, *Climacteric: the journal of the International Menopause Society*, 20(5), 456-461, 2017. <https://doi.org/10.1080/13697137.2017.1329289>
- Avcı Başboğa, N., Menopozal Terminoloji: Biyomedikal, Sosyokültürel ve Feminist Bakış, Şahin N.H., Kaydırak M.M. (Ed.), *Menopoz*. (s.3-14). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Balkan, S., Menopozda Psikososyal, Bilişsel Semptomlar ve Bakım, Şahin N.H., Kaydırak M.M. (Ed.), *Menopoz*. (s.181-197). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Barrett, A.E., Robbins, C. The Multiple Sources of Women's Aging Anxiety and Their Relationship with Psychological Distress, *Journal of Aging and Health*, 20(1), 32-65, 2008. <https://doi.org/10.1177/0898264307309932>
- Bener, A., Falah, A. A Measurement-Specific Quality-of-Life Satisfaction During Premenopause, Perimenopause and Postmenopause in Arabian Qatari Women, *Journal of Mid-Life Health*, 5(3), 126-134, 2014. <https://doi.org/10.4103/0976-7800.141190>
- Bhat, A.V., Carvalho, L., Carvalho, P. Severity of Menopausal Symptoms and Biophysical Parameters Among Perimenopausal Women, *J Nurs Occup Health*, 1(3), 52-55, 2020.
- Blumel, J.E.M., Castelo-Branco, C., Cancelo, M.J., Cordova, A.T., Binfa, L.E., Bonilla, H.G. Relationship Between Psychological Complaints and Vasomotor Symptoms During Climacteric, *Maturitas*, 49(3), 205-210, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2004.01.011>
- Butterworth, P., Watson, N., Wooden, M. Trends in the Prevalence of Psychological Distress over Time: Comparing Results from Longitudinal and Repeated Cross-Sectional Surveys, *Frontiers In Psychiatry*, 11, 595696, 2020. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.595696>
- Cameron, E., Ward, P., Mandville-Anstey, S.A., Coombs, A. The Female Aging Body: A Systematic Review of Female Perspectives on Aging, Health, and Body Image, *Journal*

- Of Women and Aging, 31(1), 3-17, 2018.
<https://doi.org/10.1080/08952841.2018.1449586>
- Carrard, I., Argyrides, M., Ioannou, X., Kvaem, I.L., Waldherr, K., Harcourt, D., Mcardle, S. Associations Between Body Dissatisfaction, Importance of Appearance, and Aging Anxiety with Depression, and Appearance-Related Behaviors in Women in Mid-Life, Journal Of Women & Aging, 33(1), 70-83, 2021.
<https://doi.org/10.1080/08952841.2019.1681882>
- Chedraui, P., Perez-Lopez, F.R., Morales, B., Hidalgo, L. Depressive Symptoms in Climacteric Women Are Related to Menopausal Symptom Intensity and Partner Factors, Climacteric: The Journal Of The International Menopause Society, 12(5), 395-403, 2009.
<https://doi.org/10.1080/13697130902718150>
- Converso, D., Viotti, S., Sottimano, I., Loera, B., Molinengo, G., Guidetti, G. The Relationship Between Menopausal Symptoms and Burnout: A Cross-Sectional Study Among Nurses, BMC Womens Health, 19(1), 1-12, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12905-019-0847-6>
- Coşkun, A. M., *Kadın Sağlığı ve Hastalıkları El Kitabı*, Koç Üniversitesi Yayınları, İstanbul, 2012.
- Çoban, A., Nehir, S., Demirci, H., Özbaşaran, F., İnceboz, Ü. Klimakterik Dönemdeki Evli Kadınların Eş Uyumluları ve Menopoza İlişkin Tutumlarının Menopozal Yakınmalar Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 22(6), 343-349, 2008.
- Demirci, H., Menopoz, Saydam B.K. (Ed.), *Olgularla Jinekolojik Hastalarda Bakım*. (s.200-208). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Dişli Çetinçay, D., Menopozda Sağlığı Koruma ve Geliştirme, Şahin N.H., Kaydırak M.M. (Ed.), *Menopoz*. (s.95-108). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Dökmen, Z.Y. Menopoz, Beden İmgesi ve Ruh Sağlığı, Türk Psikoloji Yazıları, 12(24), 41-55, 2009.
- Erbaş, N., Demirel, G. Klimakterik Dönemdeki Kadınların Menopoza İlişkin Yakınmalarının ve Menopozal Tutumlarının Cinsel Yaşam Kalitesi Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi, Acıbadem Sağlık Bilimleri Dergisi, (4), 220-225, 2017.
- Erbil, N. Attitudes Towards Menopause and Depression, Body Image of Women During Menopause, Alexandria Journal Of Medicine, 54(3), 241-246, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ajme.2017.05.012>
- Ergül, Ö.Ş., Bayık Temel, P.A. Premenopozal Dönemde Değişen Gereksinimler ve Kontrasepsiyon, Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi, 10(10), 2006.
<https://doi.org/10.21560/Spced.14174>
- Ertekin Pınar, Ş., Yıldırım, G., Duran Aksoy, Ö., Cesur, B. Kadına Özgü Bir Sorun: Menopozda Ruh Sağlığı, International Journal Of Human Sciences, 12(2), 787-798, 2015.
- Fernández-Jiménez, C., Álvarez-Hernández, J.F., Salguero-García, D., Aguilar-Parra, J.M., Trigueros, R. Validation of the Lasher and Faulkender Anxiety about Aging Scale (AAS)

- for the Spanish Context, International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(12), 1–10, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124231>
- Fışkın, G., Hotun Şahin, N., Güler Kaya, İ. Menopozal Dönemdeki Kadınların Bu Yaşam Dönemine İlişkin Bakış Açılarının Kalitatif Analizi, JAREN, 3(3), 122-128, 2017.
- García-Ríos, R., Mora-Perez, A., Soria-Fregozo, C., Depression and Serotonergic Changes During the Climacteric and Postmenopausal Stages: Hormonal Influences, IntechOpen, 2017. <https://doi.org/10.5772/Intechopen.69786>
- Gold, E.B., Crawford, S.L., Avis, N.E., Crandall, C.J., Matthews, K.A., Waetjen, L.E., Lee, J.S., Thurston, R., Vuga, M., Harlow, S.D. Factors Related to Age at Natural Menopause: Longitudinal Analyses from SWAN, American Journal Of Epidemiology, 178(1), 70-83, 2013. <https://doi.org/10.1093/Aje/Kws421>
- Gönenç, İ.M., Koç, G. Menopoz Dönemine Yönelik Uygulanan Eğitim Programının Kadınların Menopoza Yönelik Tutumlarına Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(1), 29-33, 2019.
- Grochans, E., Szkup, M., Kotwas, A., Kopeć, J., Karakiewicz, B., Jurczak, A. Analysis of Sociodemographic, Psychological, and Genetic Factors Contributing to Depressive Symptoms in Pre-, Peri-and Postmenopausal Women, International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(4), 712, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15040712>
- Hotun Şahin, N., Klimakteryum Dönemi ve Menopoz, Beji N.K., (Ed.), *Kadın Sağlığı ve Hastalıkları*. (s. 163-169). Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul, 2017.
- Jamali, S., Javadpour, S., Mosalanejad, L., Parnian, R. Attitudes about Sexual Activity among Postmenopausal Women in Different Ethnic Groups: A Cross-Sectional Study in Jahrom, Iran, Journal of Reproduction & Infertility, 17(1), 47-55, 2016.
- Kadayıfçı, O., *Klimakterium, Premenopoz, Menopoz, Postmenopoz, Senium, İkinci Bahar*, Nobel Tıp Kitapevleri, İstanbul, 2020.
- Kahyaoğlu Süt, H., Küçükkaya, B. Premenopoz, Perimenopoz ve Postmenopoz Dönem Kadınlarında Cinsel Yaşam Kalitesi, Kadın Sağlığı Hemşireliği Dergisi, 4(1), 51-68, 2018.
- Kalarhousi, M.A., Taebi, M., Sadat, Z., Saberi, F. Assessment of Quality of Life in Menopausal Periods: A Population Study in Kashan, Iran, Iran Red Crescent Med J, 13(11), 811-817, 2011.
- Kalaycı, I. The Anxiety about Aging Scale: A Validity and Reliability Study with Turkish Menopausal Women, Turkish Studies-Social Sciences, 16(5), 1785-1798, 2021. <https://doi.org/10.7827/Turkishstudies.52527>
- Karakuş Selçuk, A., Dişsiz, M., Klimakterik Dönem Kadın Sağlığı Sorunları, Gümüş R., Haspolat Y.K. (Ed.), *Sağlıklı Yaşlanma ve Kadın*. (s.59-73). Orient Yayınları, Ankara, 2023.

- Kiskac, N., Rashidi, M., Kiskac, M. Determination of Aging Anxiety in Middle-Aged Women, *Revista da Associacao Medica Brasileira*, 70(3), e20231220, 2024. <https://doi.org/10.1590/1806-9282.20231220>
- Koç, Z., Sağlam, Z. Klimakterium Döneminde Bulunan Kadınların Menopoza İlişkin Yaşadıkları Belirti ve Tutumların Belirlenmesi, *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi*, 15(15), 100-112, 2008.
- Koysombat, K., MCGOWN, P., NYUNT, S., ABBARA, A., DHILLO, W.S. New Advances in Menopause Symptom Management, Best Practice & Research, *Clinical Endocrinology & Metabolism*, 38(1), 101774, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2023.101774>
- Lasher, K.P., Faulkender, P.J. Measurement of Aging Anxiety: Development of the Anxiety about Aging Scale, *International Journal of Aging & Human Development*, 37(4), 247–259, 1993. <https://doi.org/10.2190/1U69-9AU2-V6LH-9Y1L>
- Llaneza, P., García-Portilla, M.P., Llaneza-Suárez, D., Armott, B., Pérez-López, F.R. Depressive Disorders and the Menopause Transition, *Maturitas*, 71(2), 120-130, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.11.017>
- Lycke, A., Brorsson, A. Swedish Women's Experiences of Menopausal Transition: A Focus Group Study, *Sexual & Reproductive Healthcare: Official Journal Of The Swedish Association Of Midwives*, 35, 100807, 2023. <https://doi.org/10.1016/J.Srhc.2022.100807>
- Mehaseb, S.H., Omran, A.A.H., Gafer, H.A., El Habashy, A.I.A. Assessing the Effect of Menopausal Symptoms on Women's Quality of Life, *Egyptian Journal of Health Care*, 9(2), 75, 2018.
- Nelson, H.D. Menopause, *Lancet*, 371(9614), 760–770. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60346-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60346-3)
- Oh, E.A., Park, K.H. Development and Validation of the Aging Anxiety Scale for Korean Middle-Aged Adults, *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, 41(3), 1663-1674, 2022. <https://doi.org/10.1007/S12144-022-02758-z>
- Özcan, H., Oskay, Ü. Evidence Based Symptoms Management in Menopause, *Göztepe Tıp Dergisi*, 28(4), 157-163, 2013. <https://doi.org/10.5222/J.GOZTEPETRH.2013.157>
- Reyhani, M., Kazemi, A., Keshvari, M. Rise and Fall: Two Sides of a Coin of Middle Aged Women's Perceptions of Reproductive: A Qualitative Study, *Archives of Women's Mental Health*, 21(4), 421-428, 2018. <https://doi.org/10.1007/s00737-018-0815-4>
- Royal College of Obstetricians and Gynaecologists (RCOG), 2020. <https://www.rcog.org.uk/forthe-public/menopause-and-later-life/menopausea-life-stage> (Erişim Tarihi: 01.12.2025).
- Santoro, N., Roeca, C., Peters, B.A., Neal-Perry, G. The Menopause Transition: Signs, Symptoms, and Management Options, *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 106(1), 1–15, 2021. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa764>

- Sel, İ., Yılmaz B., Hotun Şahin, N. Menopoz Hemşireliği: Yetkinlikler, Roller ve Yönetmelikler, Şahin N.H., Kaydırak M.M. (Ed.), *Menopoz*. (s.31-42). Nobel Tıp Kitapevi, Ankara, 2023.
- Sis Çelik, A., Pasinlioğlu, T. Klimakterik Dönemdeki Kadınların Yaşadıkları Menopozal Semptomlar ve Etkileyen Faktörler, *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 1(1), 16-29, 2015.
- Sis, A., *Menopoz Dönemindeki Kadınların Menopozal Yakınmalarının Evlilik Uyumuna Etkisinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 2010.
- Soules, M.R., Sherman, S., Parrott, E., Rebar, R., Santoro, N., Utian, W., Woods, N. Executive Summary: Stages of Reproductive Aging Workshop (Straw), *Fertility and Sterility*, 76(5), 874–878, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0015-0282\(01\)02909-0](https://doi.org/10.1016/S0015-0282(01)02909-0)
- Tambağ, H., *Huzurevindeki Yaşlılara Sağlıklı Yaşam Biçimi ve Yaşam Doyumu Geliştirmeye Yönelik Verilen Psikoğitimin Değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- Taşkın, L., *Doğum ve Kadın Sağlığı Hemşireliği*, Akademisyen Kitabevi, Ankara, 2020.
- Tokuç, B., Kaplan, P.B., Balık, G.Ö., Gül, H. Trakya Üniversitesi Hastanesi Menopoz Polikliniğine Başvuran Kadınlarda Yaşam Kalitesi, *Türk Jinekoloji Ve Obstetrik Derneği Dergisi*, 3(4), 281-287, 2006.
- Tortumluoğlu, G. Asyalı ve Türk Kadınlarında Menopoz, *Journal of Human Sciences*, 1(1), 2006. <https://j-humansciences.com/index.php/IJHS/article/view/118>
- Tortumluoğlu, G., Erci, B. Klimakterik Dönemdeki Kadınlara Verilen Planlı Sağlık Eğitiminin Menopozal Yakınma, Tutum ve Sağlık Davranışlarına Etkisi, *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(2), 2010.
- Tümer, A., Kartal, A. Kadınların Menopoz İlişkin Tutumları ile Menopozal Yakınmaları Arasındaki İlişki, *Pamukkale Tıp Dergisi*, 11(3), 337-346, 2018.
- Türkiye Nüfus ve Sağlık Araştırması Ana Rapor, 2018. https://hips.hacettepe.edu.tr/tr/2018_tnsa_analiz_ve_rapor-56 (Erişim Tarihi: 01.12.2025).
- Wilmoth, J.D., Blaney, A.D., Smith, J.R. Marital Satisfaction, Negative Interaction, and Religiosity: A Comparison of Three Age Groups, *Journal of Religion, Spirituality & Aging*, 27(2-3), 222-240, 2015. <https://doi.org/10.1080/15528030.2014.997955>
- World Health Organization (WHO). Research on Menopause in the 1990s, WHO Technical Reports Series No.866/Geneva, 1996.
- Yavan, T., Köprülü, Ç., Menopoz, Yavan T, Uğurlu M. (Ed.), *Menopoz ve Kadın Sağlığı*. (s. 1-14). Türkiye Klinikleri, Ankara, 2022.
- Yurdakul, M., Eker, A., Kaya, D. Menopozal Dönemdeki Kadınların Yaşam Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 21(5), 187-193, 2007.

CERRAHİ YOĞUN BAKIMDA NÜTRİSYONEL BAKIMIN ÖNEMİ

THE IMPORTANCE OF NUTRITIONAL CARE IN SURGICAL INTENSITIVE CARE

Yüksek Lisans Öğrencisi Özcan TÜRKOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, ozcan_turkoglu@hotmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-4902-6256>

Prof. Dr. Şenay KARADAĞ ARLI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, senay1981@yahoo.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8231-3857>

ÖZET

Yoğun tıbbi bakımın sağlandığı kritik hasta grubunda yer alan yoğun bakım hastalarında yetersiz beslenme mortalite ve morbidite oranının artmasına neden olur. Ayrıca kritik hastalarda katabolik tepki, sağlıklı bireylerde açlık nedeniyle ortaya çıkan tepkiden daha belirgindir. Bu tepki belirgin inflamatuvar ve endokrin stres tepkileriyle birlikte hareketsiz kalma durumunda daha da artar. Ayrıca yoğun bakım hastalarında klinik sonuçla ilişkili yetersiz beslenme geliştirme riski yüksektir. Cerrahi yoğun bakım ünitelerinde yatan kritik hastaların ise bunlara ek olarak beslenme gereksinimlerini etkileyen birçok faktör vardır. Hastalığın ciddiyet derecesi, travmatik yaralanmaların kapsamı, cerrahi prosedürlerin türü, enerji açığı etkileyen faktörlerdir. Cerrahi travmanın neden olduğu cerrahi stres homeostaziyi korumak için bir dizi değişiklikler meydana getirir. Cerrahi stresin neden olduğu hormonal artış ve sitokin düzeyinin artmasıyla birlikte insülin direncinde artış ve katabolik durum görülür. Bu durum da çeşitli olumsuz sonuçlara neden olur. Perioperatif dönemde beslenme bu olumsuz sonuçları azaltarak ameliyat sonrası iyileşmeyi hızlandırır. Hemşireler beslenme durumunu değerlendirme, beslenme desteğinin uygulanmasında kritik role sahiptir. Güçlü bir hemşirelik liderliği gerektiren beslenme desteği sayesinde hastaların normal metabolik durumları korunabilir, komplikasyon riski azalır ve tedavi sürecini hızlandırabilir. Bu yüzden hemşireler hastaların beslenme taramalarını yaparak malnütrisyonun erken dönemde tespit edilmesinde, kanıta dayalı uygun hemşirelik müdahaleleri ile beslenme uygulamalarını yönetmede önemli role sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Cerrahi, nütrisyonel bakım, yoğun bakım, hemşire

ABSTRACT

Malnutrition in critically ill patients receiving intensive medical care leads to increased mortality and morbidity rates. Furthermore, the catabolic response in critically ill patients is more pronounced than the response seen in healthy individuals due to starvation. This response is further exacerbated by pronounced inflammatory and endocrine stress responses in situations of immobility. Furthermore, intensive care patients are at high risk of developing malnutrition related to clinical outcomes. In addition, there are many factors affecting the nutritional

requirements of critically ill patients in surgical intensive care units. The severity of the disease, the extent of traumatic injuries, and the type of surgical procedures are factors that affect energy deficit. Surgical stress caused by surgical trauma triggers a series of changes to maintain homeostasis. The hormonal increase and elevated cytokine levels caused by surgical stress lead to increased insulin resistance and a catabolic state. This situation also causes various adverse outcomes. Nutrition during the perioperative period accelerates postoperative recovery by reducing these adverse outcomes. Nurses play a critical role in assessing nutritional status and implementing nutritional support. Nutritional support, which requires strong nursing leadership, can maintain patients' normal metabolic status, reduce the risk of complications, and accelerate the treatment process. Therefore, nurses play an important role in conducting nutritional screenings of patients to detect malnutrition at an early stage and in managing nutritional practices with evidence-based, appropriate nursing interventions.

Keywords: Surgery, nutritional care, intensive care, nurse

1. CERRAHİ VE YOĞUN BAKIM

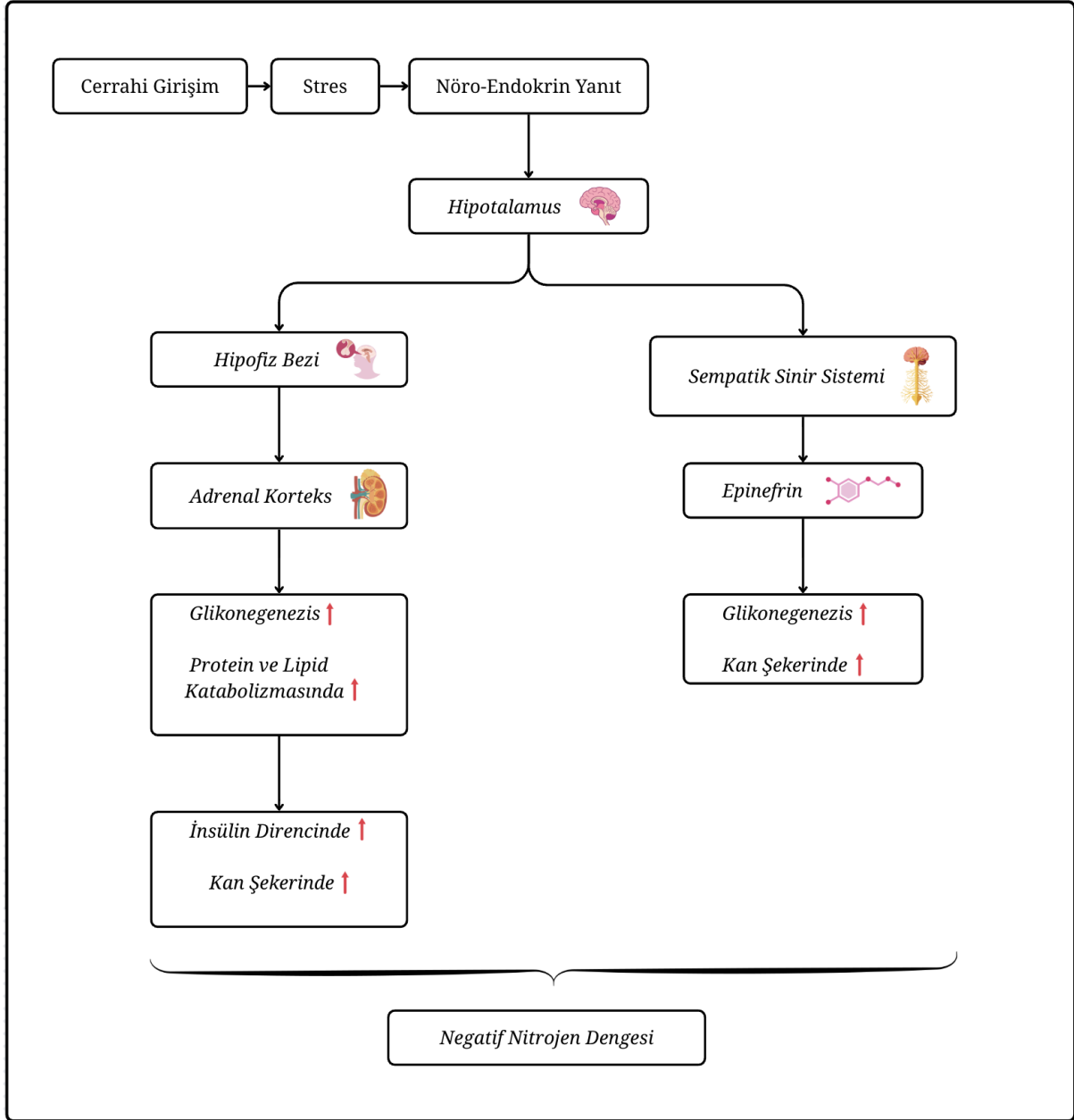
Yoğun Bakım Üniteleri, özellikle yetersiz beslenme, enfeksiyon ve hatta ölüm gibi komplikasyonları en aza indirmek için yoğun tıbbi bakım sağlar (Javid ve ark., 2021). Yetişkin hastaların %40'ına kadarı hastaneye yatış sırasında ciddi derecede yetersiz beslenmektedir ve tüm hastaların üçte ikisi hastanede kaldıkları süre boyunca beslenme durumlarında bozulma yaşamaktadır (Chinda ve ark., 2020). Kritik hasta grubunda yer alan yoğun bakım hastalarında yetersiz beslenme, mortalite ve morbidite oranlarının artmasıyla ilişkilidir. Akut kritik hastalarda katabolik tepki, sağlıklı bireylerde açlık nedeniyle ortaya çıkan tepkiden daha belirgindir; bu tepki, belirgin inflamatuvar ve endokrin stres tepkileriyle birlikte hareketsiz kalma durumuyla daha da artar. İskelet kasında meydana gelen kayıp ve zayıflık, mekanik ventilasyon, rehabilitasyon ve yoğun bakım ünitesi sonrası sakatlık ihtiyacının uzamasıyla ilişkilidir (Chinda ve ark., 2020). Ayrıca yoğun bakım ünitelerinde kritik hastalar, daha zayıf bir klinik sonuçla ilişkili yetersiz beslenme geliştirme riski yüksektir (Hoffmann ve ark., 2020). Cerrahi hastalarında ise genç yetişkinlerden büyük ameliyat geçiren yaşlılara kadar, tahmini %24-65'i yetersiz beslenmekte veya yetersiz beslenme riski altında ve bu oran hastaneye yatış süresince giderek artmaktadır (Hirsch ve ark. 2021). Bu nedenle, malnütrisyonun zamanında tanınması ve tedavisi önemlidir (van den Berg ve ark., 2021).

Bir araştırmada hastaların yoğun bakımda kaldıkları süre boyunca enerji ihtiyaçlarının %59,2'sini ve protein ihtiyaçlarının %55,5'ini karşıladıklarını göstermiştir (Javid ve ark., 2021). Bir başka araştırmada benzer sonuçlar elde edilerek hastalar herhangi bir beslenme yöntemiyle enerji hedeflerinin %55'ini ve protein hedeflerinin %59'unu aldığını göstermiştir (Yandell ve ark., 2019).

Cerrahi yoğun bakım ünitelerinde yatan cerrahi kritik hastaların ise bunlara ek olarak beslenme gereksinimlerini etkileyen birçok faktör vardır, örneğin hastalığın ciddiyet derecesi,

travmatik yaralanmaların kapsamı ve cerrahi prosedürlerin türüdür. Bir diğer neden ise enerji açığıdır: iştah kaybı veya bağırsak fizyolojisindeki değişiklikler nedeniyle yetersiz enerji alımı ve stres faktörleri nedeniyle enerji ihtiyacının artması nedenleri arasında yer alır. Ayrıca, bazı hastalar büyük ameliyatlar sonrası veya ameliyat sonrası komplikasyonlar nedeniyle perioperatif dönemde oral alım yapamazlar. Buna ek olarak, enerji ihtiyacının yanlış hesaplanması da bir başka nedendir. (Auiwattanakul ve ark., 2018)

Cerrahi travma organizma için bir tehdit oluşturur. Cerrahi travma nedeniyle organizma metabolik ve fizyolojik homeostaziye korumak için hormonal, hematolojik, metabolik ve immünolojik değişiklikler meydana getirir. Bu değişiklikler cerrahi stres yanıtını meydana getirmektedir. Cerrahi strese verilen bu yanıt karmaşık ve çeşitlidir. Strese fizyolojik tepkinin anlaşılması, mükemmel perioperatif bakım sağlamak ve optimal cerrahi sonuçlar elde etmenin ayrılmaz bir parçasıdır. (Kettaş Dölek ve Erden, 2023; Torgersen, 2015) Cerrahi stres tepkisinin endokrin ve inflamatuvar kolları içerir. Ayrıca, stres tepkisi hasarın derecesi ile ilişkilidir. Yaralanma, hipotalamus-hipofiz-adrenal (HPA) eksenini uyarır ve bu da sonuçta kortizol, epinefrin, glukagon, büyüme hormonu, aldosteron ve antidiüretik hormon salgısının artmasına neden olur. Öte yandan, enflamatuvar yanıt, çok sayıda sitokin aracılığıyla gerçekleşir. Sitokinler, bağışıklık sisteminin sonraki aktivasyonundan büyük ölçüde sorumludur ve ayrıca HPA eksenini uyardığı ve böylece enflamatuvar ve endokrin yanıtlar arasında etkileşim yarattığı gösterilmiştir. Bu durum stres altındaki hastaların artan enerji taleplerini karşılamak için tasarlanmış bir katabolik durum yaratır. Glikoz, yağ asitleri ve proteinler kolayca kullanılabilir substratlardır; ancak glikojen depoları hızla tükenir ve daha sonra iskelet kası hepatik glukoneogenez için kullanılır. Bu metabolik durumların temel nedeni insülin direncidir. Cerrahi stres yanıtı; glukagon, kortizol ve katekolaminler, sitokinlerin seviyelerini artması ve bozulmuş bağışıklık fonksiyonu insülin salgılanmasını azaltır veya inhibe eder. Bu da insülin direnci oluşturur. (Kettaş Dölek ve Erden, 2023; Torgersen, 2015; Helender ve ark., 2019) Serum glikoz konsantrasyonlarının artması ve periferik insülin direnci, kan glikoz düzeylerinin sürekli olarak yükselmesine neden olur. Metabolik bozukluklar, steroidler, dekstroz içeren solüsyonlar, dekstroz açısından zengin kan ürünleri veya intravenöz beslenme ile daha da kötüleşebilir. Organ disfonksiyonu, olumsuz yara sonuçları, kardiyovasküler olaylar ve mortalite, hiperglisemisi olanlarda daha yaygındır. (Helender ve ark., 2019)



Şekil 1: (Kettaş Dölek E, Erden S., 2023)

Cerrahi stres, protein katabolizmasının başlamasına neden olur. Bu durum protein döngüsünde artış, dolaşıma amino asit salınımı, idrarla azot kaybı ve iskelet dokusunda amino asit alımının bozulması ile karakterizedir. Sağlıklı hastalar, elektif abdominal cerrahi sonrası 40-80 g azot kaybedebilirler. Bu kayıp, yaklaşık 2 kg iskelet kası kaybına eşdeğerdir. Tüm vücutta protein yıkımı hızlanırken, protein sentezi katabolizmanın derecesine yetişemez ve bu da tüm vücutta negatif protein dengesi ile sonuçlanır. Tüm vücutta protein dengesindeki değişiklikler genellikle amino asitlerin en büyük “rezervuarı” olan iskelet kaslarında zayıflamaya yol açar, bu durumdan solunum ve bağırsak dokularıyla birlikte diğer yağsız dokular da etkilenir. (Kettaş Dölek ve Erden, 2023; Helender ve ark., 2019; Gillis, Carli, 2015)

Cerrahi sürecin meydana getirdiği inflamasyon, protein ve nitrojen kayıplarıyla birlikte görülen katabolik durum çeşitli olumsuz sonuçlara neden olmaktadır. Vücudun işlevsel birimleri olan protein depolarının azalması organ disfonksiyonu, yara iyileşmesinin uzamasına, ameliyat sonrası enfeksiyonlara mortalitede artışa buna bağlı olarak hastane yatışının uzamasına ve maliyet artışının görülmesine neden olmaktadır. Bu, sağlıklı hastalar için ciddi bir kayıp olup, yetersiz beslenen hastalar için potansiyel olarak felaket sonuçlara yol açabilir. Cerrahi sonrası beslenme cerrahi stresin etkinin azaltmaktadır ve bu nedenle katabolizmanın neden olduğu olumsuz sonuçları azaltarak perioperatif dönemde anabolik faaliyetlere katkıda bulunarak ameliyat sonrası iyileşmeyi hızlandırır. (Kettaş Dölek ve Erden, 2023; Helender ve ark., 2019)

2. KANITA DAYALI NUTRİSYONEL BAKIM ÖNERİLERİ

Beslenme desteğinin amacı, yeterli enerji sağlayarak, yağsız doku kaybını azaltarak, kas gücünü ve fonksiyonel kapasiteyi koruyarak klinik sonucu iyileştirmektir (Frederiks ve ark., 2024). Hastaların beslenme durumunun iyileştirilmesi, güçlü bir hemşirelik liderliği gerektirir (van den Berg ve ark., 2021). Beslenme desteği, kritik hastalıkta hastalık yönetimi ve hemşirelik bakımının ayrılmaz bir parçasıdır (Boeykens, 2021). Hemşireler, beslenme durumunu değerlendirme, beslenme müdahalelerini uygulama konusunda çok önemli bir role sahiptir (Hill ve ark. 2025). Hemşireler, beslenme taraması yaparak, alım miktarını ve vücut ağırlığını izleyerek ve hastaların hedefledikleri alım miktarlarına ulaşmalarına yardımcı olarak, yetersiz beslenen hastaların optimal beslenme bakımında önemli bir etkiye sahiptir (van den Berg ve ark., 2021). Beslenme desteğine yönelik hemşirelik müdahalesi sayesinde, hastaların normal metabolik seviyesi korunabilir, hastaların komplikasyon riski azalır ve ileri aşamadaki hastaların tedavi süreci hızlandırılabilir (Jia, 2023). Bu yüzden hemşirelerin, hastaların hastaneye yatış süresini azaltmak ve yaşam kalitesini artırma açısından kanıtlara dayalı uygun hemşirelik müdahaleleri ile beslenme uygulamalarını yönetmeleri önemlidir (Turan ve ark., 2024).

Kanıt Dayalı Öneriler	
Yoğun bakım ünitesinde 48 saatten uzun süre kalan her kritik hasta, malnütrisyon riski altında kabul edilmelidir.	S1, güçlü görüş birliği, %96
Yoğun bakım ünitesinde kalan tüm hastalar için, özellikle 48 saatten fazla kalanlar için tıbbi beslenme tedavisi düşünülmelidir.	R1, Derece GPP, güçlü konsensüs (%100)
Yiyecek alabilen kritik hastalarda oral beslenme, EN veya PN'ye tercih edilmelidir.	R3, Derece GPP, güçlü konsensüs, %100

Özel bir araç onaylanana kadar, yoğun bakım ünitesinde malnütrisyonu değerlendirmek için genel bir klinik değerlendirme yapılmalıdır. Açıklama: Genel klinik değerlendirme, anamnez, yoğun bakım ünitesine yatış öncesinde kasıtsız kilo kaybı veya fiziksel performans düşüşü raporu, fizik muayene, vücut kompozisyonunun genel değerlendirmesi ve mümkünse kas kütlesi ve gücünü içerebilir.	R2, Derece GPP, güçlü konsensüs %100
Oral beslenmenin sağlanamadığı kritik durumdaki yetişkin hastalara, erken PN yerine 48 saat içinde erken EN uygulanmalı/başlatılmalıdır.	R5, Derece A, güçlü konsensüs %100
Ciddi derecede malnütrisyonlu hastalarda EN için kontrendikasyonlar olması durumunda, beslenme sağlanamaması yerine erken ve aşamalı PN sağlanabilir.	R7, Derece 0, güçlü konsensüs, %95
Aspirasyon riski yüksek olduğu düşünülen hastalarda, postpilorik, esas olarak jejunal beslenme uygulanabilir.	R12, Derece GPP, güçlü konsensüs, %95
Enteral nütrisyonun bolus uygulanması yerine sürekli infüzyon yöntemi kullanılmalıdır.	R9, Derece B, güçlü konsensüs, %95
Standart yaklaşım olarak EN'yi başlatmak için mide erişimi kullanılmalıdır.	R10, Derece GPP, güçlü konsensüs, %100
Yüksek proteinli beslenme ameliyat sonrası beslenme komplikasyonları azaltabilir ve iyileşmeyi artırabilir.	
Yüksek enerji alımı olan hastalar ile düşük enerji alımı olan hastalar arasında klinik sonuçlar açısından anlamlı bir fark görülmemiştir. Yoğun bakımda kaldıkları ilk 7-10 gün boyunca 12 ila 25 kcal/kg (yani incelenen ortalama enerji alımı aralığı) arasında beslenmelerini öneriyoruz.	Kanıt DERECEŚİ: Orta Tavsiyenin DERECEŚİ: Zayıf
EN için aday olan kritik durumdaki yetişkin hastalarda, kritik hastalığın ilk haftasında birincil beslenme yöntemi olarak PN ile EN arasında benzer enerji alımında klinik sonuçlarda önemli bir fark görülmedi. PN ile sağlanan benzer enerji alımı EN'den üstün olmadığı ve zarar açısından bir fark tespit edilmediğinden, PN veya EN'nin kabul edilebilir olduğunu öneriyoruz.	Kanıt DERECEŚİ: Yüksek Tavsiyenin DERECEŚİ: Güçlü
EN alan yetişkin kritik hastalarda, kritik hastalığın ilk haftasında SPN uygulanması ile SPN uygulanmaması arasında klinik sonuçlarda önemli bir fark görülmemiştir. Yoğun bakım ünitesine yatışın erken döneminde SPN uygulamasının klinik açıdan önemli bir faydası olmadığına dair bulgulara dayanarak, yoğun bakım ünitesine yatışının 7. gününden önce SPN uygulamasına başlanmamasını öneriyoruz.	Kanıt DERECEŚİ: Yüksek Tavsiyenin DERECEŚİ: Güçlü

Çoğu durumda, ameliyat sonrası oral beslenme alımı kesintisiz olarak devam ettirilmelidir.	Tavsiye derecesi A – güçlü konsensüs %90
Ağızdan alım miktarının, bireysel toleransa ve yapılan ameliyatın türüne göre ayarlanması ve yaşlı hastalara özel dikkat gösterilmesi önerilir.	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %100
Cerrahi işlemden birkaç saat sonra çoğu hastada oral alımın berrak sıvılar dahil olmak üzere başlatılmalıdır.	Tavsiye derecesi A – güçlü konsensüs %100
Büyük cerrahi işlemlerden önce ve sonra beslenme durumunun değerlendirilmesi önerilir.	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %100
Perioperatif dönemde beş gün veya daha uzun süre oral beslenme alamayacağı öngörülen hastalarda, özellikle yetersiz beslenen hastalarda beslenme tedavisi derhal başlatılmalıdır.	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %93
Önerilen enerji miktarının %50'sinden fazlasını yedi günden fazla süreyle oral olarak alamayan hastalarda da beslenme tedavisi derhal başlatılmalıdır.	
Enerji ve besin gereksinimleri yedi günden uzun bir süre boyunca sadece oral ve enteral alımla karşılanamıyorsa (<kalori gereksiniminin %50'si), enteral ve parenteral beslenme (PN) kombinasyonu önerilir (GPP). Beslenme tedavisi endike ise ve bağırsak tıkanıklığı gibi enteral beslenme (EN) için kontrendikasyon varsa, PN mümkün olan en kısa sürede uygulanmalıdır. (A)	Tavsiye derecesi GPP/A – güçlü konsensüs %100
EN, ameliyattan sonraki 24 saat içinde başlatılmalıdır.	Tavsiye derecesini A – güçlü konsensüs %91
Uzun süreli EN (>4 hafta) gerekliyse, örneğin ağır kafa travmasında, perkütan tüp (örneğin perkütan endoskopik gastrostomi - PEG) yerleştirilmesi önerilir.	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %94
Ameliyat öncesi ve sonrası beslenme desteği tedavisi almış olmasına rağmen hala oral yolla enerji ihtiyacını yeterince karşılayamayan hastalar için, hastanede yatışları süresince beslenme durumunun düzenli aralıklarla yeniden değerlendirilmesi ve gerekirse taburcu olduktan sonra da nitelikli beslenme danışmanlığı dahil olmak üzere beslenme desteği tedavisinin sürdürülmesi önerilir.	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %97
Ağız yoluyla/tüp ile beslenme, ameliyattan sonraki ilk birkaç saat içinde, bilinçli ve hemodinamik açıdan stabil hastalarda tolere edilebildiği ölçüde mümkün olan en kısa sürede başlatılmalıdır.	Tavsiye derecesi A – güçlü konsensüs %100
Ağız yoluyla beslenme, cerrahi prosedürün türüne ve bireysel toleransa göre uyarlanmalıdır. Gecikmiş mide boşalması veya	Tavsiye derecesi GPP – güçlü konsensüs %93

postoperatif ileus riski yüksek olan hastalarda erken ağız yoluyla beslenmeye tolerans dikkatle değerlendirilmelidir.

Oral ve enteral beslenmenin kontrendikasyonu varsa (örn. bağırsak tıkanıklığı), özellikle ciddi derecede yetersiz beslenen hastalarda mümkün olan en kısa zamanda PN başlatılmalıdır.	Tavsiye derecesini B – güçlü konsensüs %96

EN: Enteral Beslenme, PN: Parenteral Beslenme, SPN: Ek PN

(Singer ve ark., 2023; Powers ve ark. 2024; Compber ve ark. 2022; Weimann, 2021; Weimann, 2025)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tıbbi yoğun bakımın verildiği kritik hastalık grubunda yer alan yoğun bakım hastaları artmış katabolik tepki inflamatuvar ve endokrin stres tepkileriyle birlikte hareketsiz kalma durumunda daha da artmaktadır. Daha zayıf klinik sonuçla birlikte yetersiz beslenme yönünden ciddi risk altındadır. Cerrahi yoğun bakım ünitelerinde yatan cerrahi kritik hastalarında ise bunlara ek olarak beslenme gereksinimini etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörler enerji ihtiyacının artması veya yetersiz enerji alımıyla ilişkilidir. Ayrıca cerrahi travmanın neden olduğu değişikliklerle birlikte homeostaziyi korumak isteyen organizma cerrahi stres tepkisi yanıtını oluşturmaktadır, bu yanıt insülin direncinde artış ve protein katabolizmasının başlamasına neden olur. Bu sürecin meydana getirdiği katabolik durum ve cerrahiyle birlikte görülen protein, nitrojen kaybı organ disfonksiyonu, yara iyileşmesinin uzamasına, ameliyat sonrası enfeksiyonlara, mortalitede artışa buna bağlı olarak hastanede yatışın uzamasına ve maliyet artışına sebep olmaktadır. Cerrahi sonrası beslenme desteği cerrahinin neden olumsuz sonuçları azaltılarak anabolik faaliyetlere katkıda bulunur.

Hastalara 24 saat bakım sağlayan hemşireler beslenme durumunu değerlendirerek malnütrisyonun erken dönemde fark edilmesine ve güçlü bir hemşirelik liderliğiyle birlikte bu durumun yönetilmesinde önemli bir role sahiptir. Beslenme desteğine yönelik güncel kanıta dayalı hemşirelik müdahaleleriyle birlikte bakımın güvenliği ve kalitesi artabilir, hastaların normal metabolik seviyeleri korunabilir, komplikasyon riski azaltılabilir ve ileri aşamadaki tedavi sürecini hızlandırarak hastanede yatış süresinin kısalmasına ve maliyetlerin azalmasına yardımcı olur. Bu yüzden hemşireler beslenme desteğinin başarısını artırmak için güncel kanıta dayalı hemşirelik müdahaleleri hakkında bilgi sahibi olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Auiwattanakul, S., Chittawatanarat, K., Chaiwat, O., Morakul, S., Kongsayreepong, S., Ungpinitpong, W., Yutthakasemsunt, S., & Buranapin, S. (2018). Characters of Nutrition Status and Energy-delivery Patterns of the University-based Surgical Intensive Care Units

- in Thailand (Multi-center THAI-SICU Study). *Medical archives (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina)*, 72(1), 36–40. <https://doi.org/10.5455/medarh.2018.72.36-40>
- Chinda, P., Poomthong, P., Toaditthep, P., Thanakiattiwibun, C., & Chaiwat, O. (2020). The implementation of a nutrition protocol in a surgical intensive care unit; a randomized controlled trial at a tertiary care hospital. *PloS one*, 15(4), e0231777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231777>
 - Hoffmann, M., Schwarz, C. M., Fürst, S., Starchl, C., Lobmeyr, E., Sendlhofer, G., & Jeitziener, M. M. (2020). Risks in Management of Enteral Nutrition in Intensive Care Units: A Literature Review and Narrative Synthesis. *Nutrients*, 13(1), 82. <https://doi.org/10.3390/nu13010082>
 - Kettaş Dölek E, Erden S. (2023) Cerrahi Süreçte Hasta Beslenmesinde Güncel Yaklaşımlar. *KSU Medical Journal*. ;18(1):183-190. doi:10.17517/ksutfd.1034634
 - Torgersen, Z., & Balters, M. (2015). Perioperative nutrition. *The Surgical clinics of North America*, 95(2), 255–267. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2014.10.003>
 - Helander, E. M., Webb, M. P., Menard, B., Prabhakar, A., Helmstetter, J., Cornett, E. M., Urman, R. D., Nguyen, V. H., & Kaye, A. D. (2019). Metabolic and the Surgical Stress Response Considerations to Improve Postoperative Recovery. *Current pain and headache reports*, 23(5), 33. <https://doi.org/10.1007/s11916-019-0770-4>
 - Gillis, C., & Carli, F. (2015). Promoting Perioperative Metabolic and Nutritional Care. *Anesthesiology*, 123(6), 1455–1472. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000000795>
 - Boeykens K. (2021). Nutritional Support in the Intensive Care Unit: Implications for Nursing Care From Evidence-Based Guidelines and Supporting Literature. *Dimensions of critical care nursing : DCCN*, 40(1), 14–20. <https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000448>
 - Hill, B., Mitchell, A., Szydłowska, A., Sparks, C., Dunn, H., & Berry, H. (2025). The role of nutrition in wound healing and implications for nursing practice. *British journal of nursing (Mark Allen Publishing)*, 34(4), S39–S42. <https://doi.org/10.12968/bjon.2024.0288>
 - Turan, M., Cengiz, Z., & Olmaz, D. (2024). Evidence-Based Investigation of Nurses' Nutrition Interventions in Intensive Care Patients Regarding Enteral Nutrition. *Dimensions of critical care nursing : DCCN*, 43(3), 123–129. <https://doi.org/10.1097/DCC.0000000000000639>
 - van den Berg, G. H., Huisman-de Waal, G. G. J., Vermeulen, H., & de van der Schueren, M. A. E. (2021). Effects of nursing nutrition interventions on outcomes in malnourished hospital inpatients and nursing home residents: A systematic review. *International journal of nursing studies*, 117, 103888. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103888>
 - Singer, P., Blaser, A. R., Berger, M. M., Calder, P. C., Casaer, M., Hiesmayr, M., Mayer, K., Montejo-Gonzalez, J. C., Pichard, C., Preiser, J. C., Szczeklik, W., van Zanten, A. R. H., & Bischoff, S. C. (2023). ESPEN practical and partially revised guideline: Clinical nutrition in the intensive care unit. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 42(9), 1671–1689. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.07.011>
 - Powers, B. K., Ponder, H. L., Findley, R., Wolfe, R., Patel, G. P., Parrish, R. H., 2nd, & Enhanced Recovery Comparative Pharmacotherapy Collaborative (2024). Enhanced recovery after surgery (ERAS®) Society abdominal and thoracic surgery recommendations: A systematic review and comparison of guidelines for perioperative and pharmacotherapy core items. *World journal of surgery*, 48(3), 509–523. <https://doi.org/10.1002/wjs.12101>
 - Compher, C., Bingham, A. L., McCall, M., Patel, J., Rice, T. W., Braunschweig, C., & McKeever, L. (2022). Guidelines for the provision of nutrition support therapy in the adult

critically ill patient: The American Society for Parenteral and Enteral Nutrition. *JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition*, 46(1), 12–41.
<https://doi.org/10.1002/jpen.2267>

- Weimann, A., Braga, M., Carli, F., Higashiguchi, T., Hübner, M., Klek, S., Laviano, A., Ljungqvist, O., Lobo, D. N., Martindale, R. G., Waitzberg, D., Bischoff, S. C., & Singer, P. (2021). ESPEN practical guideline: Clinical nutrition in surgery. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 40(7), 4745–4761. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2021.03.031>
- Weimann, A., Bezmarevic, M., Braga, M., Correia, M. I. T. D., Funk-Debleds, P., Gianotti, L., Gillis, C., Hübner, M., Inciong, J. F. B., Jahit, M. S., Klek, S., Kori, T., Laviano, A., Ljungqvist, O., Lobo, D. N., Seguro, C. L., Montroni, I., Reddy, B. R., Saur, N. M., Schweinlin, A., ... Bischoff, S. C. (2025). ESPEN guideline on clinical nutrition in surgery - Update 2025. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 53, 222–261. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2025.08.029>
- Hirsch, K. R., Wolfe, R. R., & Ferrando, A. A. (2021). Pre- and Post-Surgical Nutrition for Preservation of Muscle Mass, Strength, and Functionality Following Orthopedic Surgery. *Nutrients*, 13(5), 1675. <https://doi.org/10.3390/nu13051675>
- Frederiks, P., Peetermans, M., & Wilmer, A. (2024). Nutritional support in the cardiac intensive care unit. *European heart journal. Acute cardiovascular care*, 13(4), 373–379. <https://doi.org/10.1093/ehjacc/zae018>
- Javid, Z., Shadnough, M., Khadem-Rezaian, M., Mohammad Zadeh Honarvar, N., Sedaghat, A., Hashemian, S. M., Ardehali, S. H., Nematy, M., Pournik, O., Beigmohammadi, M. T., Safarian, M., Moradi Moghaddam, O., Khoshfetrat, M., Zand, F., Mohammad Alizadeh, A., Kosari Monfared, M., Mazaheri Eftekhari, F., Mohamadi Narab, M., Taheri, A. S., Babakhani, K., ... Norouzy, A. (2021). Nutritional adequacy in critically ill patients: Result of PNSI study. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 40(2), 511–517. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.05.047>
- Yandell, R., Wang, S., Bautz, P., Shanks, A., O'Connor, S., Deane, A., Lange, K., & Chapman, M. (2019). A retrospective evaluation of nutrition support in relation to clinical outcomes in critically ill patients with an open abdomen. *Australian critical care : official journal of the Confederation of Australian Critical Care Nurses*, 32(3), 237–242. <https://doi.org/10.1016/j.aucc.2018.04.004>
- Jia, R., Zhao, H., Yan, X., & Yang, Z. (2023). The effect of enteral nutrition nursing intervention on postoperative treatment of chronic critically ill patients: Health prevention data analysis. *Preventive medicine*, 174, 107635. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2023.107635>

ORTOGERİATRİ HASTALARINDA DELİRYUMUN ÖNLENMESİ VE HEMŞİRELİK BAKIMI

Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, skocasli@yahoo.com.tr
ORCID ID: 0000-0002-5718-0669

ÖZET

Beklenen yaşam süresinin artmasıyla birlikte geriatrik nüfusun toplam nüfus içindeki oranı giderek yükselmektedir. Bu artış, düşme ve kalça kırıkları gibi önemli morbidite, mortalite ve maluliyet nedenlerinin daha sık görülmesine yol açmaktadır. ≥ 65 yaş bireylerin yaklaşık %25'inin her yıl en az bir kez düşme yaşadığı bildirilmektedir. Kalça kırığı nedeniyle hastaneye yatırılan ortogeriatrik hastalarda deliryum, en sık görülen komplikasyonlardan biri olup, olguların %28–61'inde geliştiği bildirilmektedir. Deliryum; bilinç düzeyinde dalgalanma, dikkat ve bilişsel işlevlerde akut bozulma ile karakterize, genellikle gece saatlerinde şiddetlenen ve uzamış hastane yatışı, fonksiyonel iyileşmede gecikme, artmış bakım gereksinimi ve sağlık harcamaları gibi olumsuz klinik sonuçlara yol açan ciddi bir sendromdur.

Ortogeriatrik hastalarda deliryum, büyük ölçüde önlenabilir ya da uygun girişimlerle şiddeti azaltılabilir bir klinik durumdur. Bu nedenle yönetimde temel yaklaşım, deliryuma katkıda bulunan risk faktörlerinin erken dönemde tanınması ve ortadan kaldırılmasına yönelik girişimlerin planlanmasıdır. Etkili tek bir farmakolojik tedavi yöntemi bulunmadığından, deliryumun önlenmesi ve yönetiminde farmakolojik olmayan çok bileşenli yaklaşımlar ön planda yer almakta; oryantasyonun desteklenmesi, yeterli hidrasyon ve beslenmenin sağlanması, erken mobilizasyon, uyku düzeninin korunması ve çevresel uyaranların azaltılması gibi girişimler önerilmektedir. Bu kapsamda hemşireler, deliryumun erken tanınması, risklerin azaltılması ve bakım süreçlerinin koordinasyonunda kilit rol üstlenmektedir. Klinik uygulamalara rehberlik edecek kanıta dayalı bakım protokollerinin geliştirilmesi ve ortogeriatrik ekip yaklaşımının güçlendirilmesi, hasta güvenliğinin artırılması ve olumsuz klinik sonuçların azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler : Ortogeriatrik hasta, deliryum, hemşirelik bakımı

DELIRIUM IN ORTHOGERIATRIC PATIENTS AND NURSING CARE IN ITS PREVENTION

Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, skocasli@yahoo.com.tr
ORCID ID: 0000-0002-5718-0669

ABSTRACT

With the increase in life expectancy, the proportion of the geriatric population within the total population has been steadily rising. This trend has led to a higher incidence of major causes of morbidity, mortality, and disability such as falls and hip fractures. It is reported that approximately 25% of individuals aged 65 years and older experience at least one fall each year. Delirium is one of the most common complications among orthogeriatric patients hospitalized due to hip fractures, occurring in 28–61% of cases. Delirium is a serious syndrome characterized by fluctuating levels of consciousness and acute impairments in attention and cognitive function, often worsening at night, and is associated with adverse clinical outcomes such as prolonged hospital stays, delayed functional recovery, increased care needs, and higher health care costs.

In orthogeriatric patients, delirium is largely preventable or its severity can be reduced with appropriate interventions. Therefore, the primary approach in management is the early identification of risk factors contributing to delirium and the planning of interventions aimed at eliminating or minimizing these factors. Since there is no single effective pharmacological treatment, multicomponent non-pharmacological strategies are emphasized in the prevention and management of delirium. These include supporting orientation, ensuring adequate hydration and nutrition, promoting early mobilization, maintaining sleep–wake cycles, and reducing environmental stimuli. Within this framework, nurses play a key role in the early detection of delirium, risk reduction, and coordination of care processes. The development of evidence-based nursing care protocols and the strengthening of the orthogeriatric multidisciplinary team approach are of great importance in improving patient safety and reducing adverse clinical outcomes.

Keywords: Orthogeriatric patient, delirium, nursing care

1.GİRİŞ

Yaşam beklentisinin artmasıyla birlikte yaşlı nüfusun hem sayısında hem de toplam nüfus içindeki oranında belirgin bir yükselme gözlenmektedir (Jaqua ve ark., 2023). Yaşlanma süreciyle ilişkili fizyolojik değişiklikler, kronik hastalık yükü ve fonksiyonel kayıplar geriatrik bireyleri travmaya daha yatkın hale getirmektedir. Özellikle düşmeler ve buna bağlı gelişen kalça kırıkları, ileri yaş grubunda önemli morbidite ve mortalite nedenleri arasında yer almaktadır (Sun ve Yang, 2023). Kalça kırıklarının büyük çoğunluğunun (%95'e yakını) düşme sonucu meydana geldiği bildirilmektedir (Wu ve ark., 2025). Toplumda yaşayan 65 yaş ve üzeri

bireylerin yaklaşık dörtte biri yılda en az bir kez düşme yaşamakta; bu düşmelerin yaklaşık beşte biri ise kalça kırığı gibi ciddi yaralanmalarla sonuçlanmaktadır (Ünal ve ark., 2022).

Kalça kırığı nedeniyle hastaneye yatırılan geriatric hastalarda en sık karşılaşılan komplikasyonlardan biri deliryumdur. Deliryum; dikkat, bilinç ve bilişsel işlevlerde akut başlangıçlı ve dalgalı seyir gösteren bozulma ile karakterize nöropsikiyatrik bir sendromdur (Ormseth ve ark., 2023; Lee ve ark., 2021). Tarihsel süreçte organik beyin sendromu, akut konfüzyonel durum ya da metabolik ensefalopati gibi farklı terimlerle ifade edilmiş olsa da, güncel tanımlama Amerikan Psikiyatri Birliği'nin DSM-5 sınıflamasında yer almaktadır. DSM-5'e göre deliryum; dikkati yönlendirme, sürdürme ve değiştirme becerisinde azalma ile birlikte çevresel farkındalıkta bozulma ve bilişsel değişikliklerle seyreden akut bir bozukluktur (Jaqua ve ark., 2023; Sun ve Yang, 2023).

Deliryum, özellikle ortogeriatric hastalarda klinik seyri olumsuz etkileyen önemli bir sorundur. Hastanede kalış süresinin uzamasına, fonksiyonel iyileşmenin gecikmesine, bakım maliyetlerinin artmasına ve mortalite riskinin yükselmesine neden olabilmektedir (Devlin ve ark., 2018; Lee ve ark., 2021). Ayrıca ajitasyon, kendine zarar verme ve düşme riskinde artış gibi hasta güvenliğini tehdit eden sonuçlara yol açmaktadır. Kalça kırığı olan hastalarda deliryum görülme sıklığının %28 ile %61 arasında değiştiği ve bu durumun klinik sonuçları belirgin şekilde kötüleştirdiği bildirilmektedir (Hshieh ve ark., 2015).

Deliryum gelişiminde çok sayıda hazırlayıcı ve tetikleyici faktör rol oynamaktadır. İleri yaş, demans öyküsü, duyuşsal kayıplar, malnütrisyon, enfeksiyonlar, metabolik dengesizlikler (hipoglisemi, hiperglisemi), hipoksi, dehidratasyon, anemi ve immobilizasyon başlıca risk faktörleri arasındadır (Jaqua ve ark., 2023; Sun ve Yang, 2023; Wu ve ark., 2025). Bunun yanı sıra uzun süreli hastanede yatış, cerrahi girişimler, ağrı, anksiyete, çoklu ilaç kullanımı, çevresel gürültü ve uyku bozuklukları gibi faktörler de deliryum riskini artırmaktadır (Ormseth ve ark., 2023).

Sağlık profesyonellerinin bu çok yönlü risk faktörlerini sistematik biçimde değerlendirebilmeleri amacıyla "I-WATCH-DEATH" ve "THINK" gibi klinik anımsatıcılar geliştirilmiştir (Sun ve Yang, 2023; Ünal ve ark., 2022; Devlin ve ark., 2018) (Tablo 1). Bu yaklaşımlar, deliryumun erken tanınması ve önlenmesine yönelik bütüncül değerlendirmeyi desteklemektedir.

Tablo1. Deliryum risk faktörleri-(IWATCH DEATH)

Infections (Enfeksiyonlar)	Pnömoni, üriner sistem enfeksiyonu, ensefalit, menenjit, sifiliz
Withdrawal (Yoksunluk)	Alkol, sedatif-hipnotikler
Acute Metabolic Conditions (Akut Metabolik Durumlar)	Asidoz, alkoloz, elektrolit bozuklukları, karaciğer ya da böbrek yetmezlikleri
Trauma (Travma)	Sıcak çarpması, yanıklar, cerrahi girişimler

Central Nervous System's Pathologies (Santral Sinir Sistemi Patolojileri)	Abse, tümör, kanama, nöbet, inme, vaskülit, normal basınçlı hidrocefali
Hypoxia (Hipoksi)	Hipotansiyon, pulmoner emboli, pulmoner ya da kardiyak yetmezlikler, anemi, karbonmonoksit zehirlenmesi
Deficiencies (Eksiklikler)	B12 vitamini, niasin, tiamin
Endocrinopathies (Endokrinopatiler)	Hiper veya hipoglisemi, hiper veya hipoadrenalizm, hiper veya hipotiroidizm, hiper veya hipoparatiroidizm
Acute Vascular Problems (Akut Vasküler Olaylar)	Hipertansif ensefalopati, şok
Toxins (Toksinler veya İlaçlar)	İlaçlar, ilaçların kötüye kullanımı, pestisitler, kimyasal çözücüler
Heavy Metals (Ağır Metaller)	Kurşun, manganez, civa

Delirium Türleri

Delirium klinik seyri açısından değişkenlik gösterebilen bir sendromdur. Bazı olgularda birkaç gün içinde gerileyebilmekle birlikte, bazı hastalarda haftalarca sürebilen uzamış bir tablo şeklinde izlenebilmektedir. Klinik özelliklerine göre delirium üç alt tipte sınıflandırılmaktadır: hiperaktif, hipoaktif ve karma tip (Ormseth ve ark., 2023; Suzuki ve ark., 2025). Psikomotor aktivitedeki artışın belirgin olması nedeniyle hiperaktif ve karma tipler genellikle daha erken fark edilirken, daha silik belirtilerle seyreden hipoaktif tip sıklıkla tanı almadan gözden kaçabilmektedir (Jin ve ark 2020).

Hiperaktif delirium, artmış psikomotor aktivite, ajitasyon ve huzursuzluk ile karakterizedir. Hastalarda irritabilite, saldırgan davranışlar, bağırma, tıbbi cihazları (kateter, intravenöz hat vb.) çekmeye çalışma gibi güvenliği tehdit eden davranışlar görülebilir. Uyku-uyanıklık döngüsü genellikle bozulmuştur ve halüsinasyonlar tabloya eşlik edebilir. Bu klinik görünüm, hem hastanın güvenliğinin sağlanması hem de tedavi ve bakım uygulamalarının sürdürülebilmesi açısından hemşirelik bakımını güçleştirebilmektedir (Jaqua ve ark., 2023).

Hipoaktif delirium ise daha sık görülmesine karşın belirti şiddetinin düşük olması nedeniyle tanınması zor olan alt tiptir. Bu hastalarda psikomotor yavaşlama, letarji, çevreye ilgide azalma, içe kapanma ve dikkat eksikliği ön plandadır. Klinik olarak daha sakin bir görünüm sergilemeleri nedeniyle durum sıklıkla gözden kaçabilmekte, ancak bu grubun mortalite oranlarının daha yüksek olduğu bildirilmektedir. Ayrıca immobilizasyona bağlı olarak basınç yarası ve derin ven trombozu gibi komplikasyonların görülme riski artmaktadır (Sun ve Yang, 2023).

Karma tip deliriumda ise hastada gün içerisinde psikomotor aktivite düzeyi dalgalanma göstermektedir. Aynı gün içinde hipoaktif ve hiperaktif özellikler bir arada görülebilir. Örneğin

hasta gündüz saatlerinde daha sakin ve içe dönük iken, gece saatlerinde ajitasyon ve huzursuzluk sergileyebilir. Bu dalgalı seyir, klinik değerlendirmeyi zorlaştırmakta ve düzenli gözlem gerektirmektedir (Sandeep ve Ajit 2018).

Deliryumun Belirti ve Bulguları

Deliryum klinik olarak heterojen bir tablo sergilemekte olup belirtiler, hastalığın alt tipine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle hemşirelik değerlendirmesi yapılırken deliryumun hiperaktif, hipoaktif ve karma tip özellikleri dikkate alınmalıdır (Wu ve ark., 2025). Sistematik ve düzenli gözlem, özellikle dalgalı seyir gösteren olgularda erken tanı açısından önem taşımaktadır (Avendaño-Céspedes ve ark 2016).

Deliryumun temel klinik özellikleri arasında bilinç düzeyinde değişiklik, dikkat süresinde azalma ve yönelim bozukluğu yer almaktadır. Zaman ve yer oryantasyonunda bozulma sık görülürken, algısal değişiklikler (illüzyonlar ve halüsinasyonlar), düşünce sürecinde dağınıklık ve tutarsız konuşmalar tabloya eşlik edebilmektedir (Wu ve ark 2025). Gün içerisinde bilinç düzeyinde dalgalanmalar gözlenmesi deliryum için karakteristik bir özelliktir. Ayrıca uyku-uyanıklık döngüsünde bozulma, gece ajitasyonu ya da gündüz aşırı uyku hali görülebilmektedir (Jaqua ve ark., 2023; Sun ve Yang, 2023).

Bazı hastalarda belirgin huzursuzluk, iritabilite ve davranış değişiklikleri ortaya çıkarken, bazı olgularda ise içe çekilme ve psikomotor yavaşlama ön planda olabilir. Kişilik değişiklikleri, besin ve sıvı alımında azalma, öz bakımda gerileme ve hareketlerde yavaşlama da eşlik edebilen klinik bulgular arasındadır. Bu belirtilerin ani başlangıçlı olması ve dalgalı seyretmesi, deliryumu diğer bilişsel bozukluklardan ayırmada önemli bir ipucu sunmaktadır (Ormseth ve ark 2023).

Deliryumda Tanı

Deliryumun erken ve doğru şekilde tanılanabilmesi için sağlık profesyonelleri arasında ortak bir yaklaşımın benimsenmesi önemlidir. Bu amaçla, geçerliği ve güvenilirliği kanıtlanmış yapılandırılmış değerlendirme araçlarının kullanılması önerilmektedir (Suzuki ve ark., 2023; Barr ve ark., 2013). Standart ölçüm araçları; hekim ve hemşirelere hastanın bilişsel durumunu sistematik biçimde izleme, klinik değişimleri fark etme ve uygulanan farmakolojik ya da nonfarmakolojik girişimlerin etkinliğini değerlendirme konusunda rehberlik etmektedir (Ünal ve ark., 2022).

Deliryum tanısı yalnızca ölçek uygulaması ile sınırlı olmayıp kapsamlı bir klinik değerlendirme gerektirmektedir. Ayrıntılı hasta öyküsü, psikiyatrik ve nörolojik değerlendirmeyi içeren fizik muayene ile birlikte laboratuvar bulguları tanı sürecinin temel bileşenleridir (Jaqua ve ark., 2023). Fizik muayenede özellikle yaşam bulgularının izlenmesi ve hipokseminin belirlenmesine yönelik oksijen satürasyonunun değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra karaciğer ve böbrek fonksiyon testleri, enfeksiyon varlığı (özellikle idrar yolu enfeksiyonu), anemi, elektrolit dengesizlikleri, konstipasyon, uyku düzeni ve beslenme durumu

gibi deliryumu tetikleyebilecek ya da ağırlaştırabilecek faktörler dikkatle incelenmelidir (Sun ve Yang, 2023).

Hemşirelik bakımı açısından deliryum, North American Nursing Diagnosis Association (NANDA) tarafından “akut konfüzyon” başlığı altında tanımlanmış bir hemşirelik tanısıdır. Bu tanı; bireyin dikkat, bilinç ve bilişsel işlevlerinde ani başlangıçlı ve dalgalı değişiklikler yaşadığı durumları kapsamakta olup, hemşirelik değerlendirmesinin sistematik ve bütüncül şekilde yürütülmesini gerektirmektedir (Ünal ve ark., 2022).

Deliryum tanılmasında kullanılan ölçekler:

- DSM V Kriterleri
- 4 AT testi
- Yoğun Bakım Konfüzyon Değerlendirme Yöntemi (Confusion Assessment Method-CAM-ICU)
- Yoğun Bakım Deliryum Tarama Kontrol Listesi (The Intensive Care Delirium Screening Checklist - ICDSC)
- Hemşirelik Deliryum Tarama Skalası (The Nursing Delirium Screening Scale- Nu-DESC)
- Deliryum Derecelendirme Ölçeği (Delirium Rating Scale- DRS)
- Deliryum Saptama Skoru (Delirium Detection Score- DDS)
- Neelon ve Champagne Konfüzyon Skalası (The Neelon and Champagne Confusion Scale- NEECHAM)
- Richmond Ajitasyon-Sedasyon Skalası (Richmond Agitation Scale- RASSS) (Jaqua ve ark 2023; Ünal ve ark 2022; Devlin ve ark 2018).

Deliryumda Tedavi

Deliryum, özellikle ortogeratrik hasta grubunda uygun yaklaşımlarla önlenemeyen ya da şiddeti azaltılabilen bir klinik durumdur (Ünal ve ark., 2022). Bu nedenle yönetimde temel yaklaşım, deliryuma yol açan ya da tabloyu ağırlaştıran etmenlerin erken dönemde belirlenmesi ve ortadan kaldırılmasına yönelik bütüncül bir bakım planının oluşturulmasıdır (Wu ve ark 2025). Deliryum tedavisinde tek başına etkili olduğu kanıtlanmış bir farmakolojik ajan bulunmadığından, çok bileşenli ve disiplinler arası stratejilerin uygulanması önerilmektedir. Bu süreçte bakımın standardizasyonunu sağlamak amacıyla algoritma ve klinik protokollerin kullanılması önem taşımaktadır (Suzuki ve ark., 2023; Jaqua ve ark., 2023).

Deliryum yönetiminde öncelik, altta yatan nedenlerin düzeltilmesi ve risk faktörlerinin kontrol altına alınmasıdır. Ağrının etkin biçimde giderilmesi, konstipasyonun önlenmesi, yeterli beslenme ve hidrasyonun sağlanması temel yaklaşımlar arasındadır. Görme ve işitme kaybı olan hastaların gözlük ve işitme cihazlarını kullanmalarının teşvik edilmesi, erken mobilizasyonun desteklenmesi ve mümkün olduğunca oda değişikliğinden kaçınılması çevresel stabilitenin korunması açısından önemlidir. Ayrıca deliryum riskini artırabilecek ilaçların gözden geçirilmesi ve gereksiz ilaç kullanımının azaltılması önerilmektedir (Sun ve Yang, 2023; Ünal ve ark., 2022).

Farmakolojik girişimler: Farmakolojik tedavi, genellikle ajitasyonun eşlik ettiği ve hastanın ya da çevresinin güvenliğinin tehlikeye girdiği durumlarda gündeme gelmektedir. Bu amaçla anksiyolitik, hipnotik ve antipsikotik ilaçlar kullanılabilir (Suzuki ve ark., 2023). Ancak mevcut kanıtlar, antipsikotiklerin (örneğin haloperidol) deliryumu önlemede rutin olarak kullanılmasını desteklememektedir. 2018 yılı Amerikan Yoğun Bakım Derneği rehberinde, bu ilaçların profilaktik amaçla önerilmediği belirtilmiştir. Benzodiazepinler (midazolam, lorazepam, diazepam), propofol ve deksmedetomidin gibi ajanlar da belirli klinik durumlarda tercih edilebilmektedir (Sun ve Yang, 2023).

Farmakolojik ajan seçilirken hastanın klinik durumu, eşlik eden hastalıkları ve hedeflenen sedasyon düzeyi göz önünde bulundurulmalıdır. En düşük etkili dozun kullanılması, sedasyon düzeyinin düzenli aralıklarla değerlendirilmesi ve gereksinim ortadan kalktığında ilacın kesilmesi temel ilkeler arasındadır (Jaqua ve ark., 2023). Tüm ilaçlara düşük dozla başlanmalı ve gereksinime göre kademeli artış yapılmalıdır. Farmakolojik tedavi hiçbir zaman birincil yaklaşım olarak değil, zorunlu durumlarda başvuru destekleyici bir yöntem olarak değerlendirilmelidir (Suzuki ve ark., 2023; Devlin ve ark., 2018).

Farmakolojik olmayan girişimler: Deliryumun önlenmesi ve yönetiminde farmakolojik olmayan yaklaşımlar temel rol oynamaktadır. Bu kapsamda ağrının ilaç dışı yöntemlerle kontrolü, solunum egzersizleri, uyku hijyeninin sağlanması ve çevresel uyaranların düzenlenmesi önemlidir (Sun ve Yang 2023). Hastanın sık aralıklarla oryante edilmesi, erken mobilizasyonunun desteklenmesi, yeterli beslenme ve sıvı alımının sağlanması, elektrolit dengesizliklerinin düzeltilmesi ve deliryuma yol açabilecek ilaçların azaltılması önerilen uygulamalar arasındadır. Ayrıca hasta ve aile iş birliğinin sağlanması, güvenli ve sakin bir bakım ortamının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Lee ve ark., 2021; Jaqua ve ark., 2023).

Deliryumda Hemşirelik Bakımı

Ortogeriatrik hastalarda deliryumun önlenmesi, erken tanınması ve yönetilmesinde hemşireler kilit role sahiptir. Hemşireler; deliryum belirtilerinin izlenmesi, risk faktörlerinin belirlenmesi ve uygun bakım girişimlerinin planlanması süreçlerinde aktif sorumluluk üstlenmektedir (Ünal ve ark., 2022). Bu nedenle deliryum yönetimine ilişkin bilgi ve becerilerinin güncel kanıtlar doğrultusunda geliştirilmesi önem taşımaktadır. Yel ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, hemşirelerin yapılandırılmış bir değerlendirme ölçeği kullanarak, hekim tanısından bağımsız şekilde deliryumu tanımlayabildikleri gösterilmiştir.

Risk Değerlendirmesi ve İzlem

Deliryum bakımında ilk adım, sistematik risk değerlendirmesidir. Hemşire, hastanın davranışlarını, duyu durumunu ve düşünce sürecini bütüncül biçimde değerlendirmeli; deliryum gelişimine zemin hazırlayan faktörleri belirleyerek buna yönelik önleyici girişimleri planlamalıdır. Klinik rehberler, geçerli ve güvenilir değerlendirme araçlarının kullanılmasını

ve bu değerdendirmerinin her vardiya değışiminde ya da hastanın mental durumunda farklılık gözleendiğinde tekrarlanmasını önermektedir (Barr ve ark., 2013; Devlin ve ark., 2018).

İletişim ve Oryantasyonun Desteklenmesi

Deliryum riskinin azaltılmasında etkili iletişim temel unsurlardan biridir. Hemşireler hastanın zaman ve mekân oryantasyonunu desteklemeli; bakım ve tedavi uygulamaları sırasında kısa, net ve anlaşılır ifadeler kullanmalıdır. Hastaya içinde bulunduğı ortam ve tedavi süreci hakkında bilgi verilmesi, güven duygusunu artırarak bilişsel stabiliteyi desteklemektedir (Ünal ve ark., 2022; Suzuki ve ark., 2023).

Fizyolojik Dengenin Sağlanması

Sıvı-elektrolit dengesinin korunması deliryum yönetiminde kritik öneme sahiptir. Hastanın aldığı-çıkardığı takibi yapılmalı, yeterli hidrasyon ve beslenmesi sağlanmalıdır (Ünal ve ark., 2022). Laboratuvar bulguları düzenli olarak izlenmeli; özellikle elektrolit dengesizlikleri ve anemi açısından değerdendirme yapılmalıdır (Suzuki ve ark., 2023; Devlin ve ark., 2018). Bununla birlikte oksijen satürasyonu ve diğer yaşam bulgularının yakından takibi, hipoksiye bağlı bilişsel bozulmaların önlenmesi açısından gereklidir (Lee ve ark., 2021).

Uyku Düzeninin Korunması

Uyku bozuklukları deliryum riskini artıran önemli faktörler arasındadır. Benzodiazepin gibi bazı sedatiflerin deliryum riskini yükseltebileceğı göz önünde bulundurularak, öncelikle farmakolojik olmayan yöntemler tercih edilmelidir. Gece saatlerinde ışıkların azaltılması, çevresel gürültünün kontrol altına alınması ve gece uygulanan bakım girişimlerinin mümkün olduğunca düzenlenmesi uyku kalitesini artırmaya yardımcı olmaktadır (Sun ve Yang, 2023; Devlin ve ark., 2018).

Mobilizasyon

Erken mobilizasyon deliryumun önlenmesinde etkili bir girişimdir. Hastaya öncelikle yatak içi egzersizler başlanmalı ve mümkün olan en kısa sürede mobilizasyonu desteklenmelidir (Suzuki ve ark., 2023). Literatürde, çok bileşenli hemşirelik girişimlerinin deliryum insidansını ve şiddetini azalttığı bildirilmektedir. Bu girişimler; oryantasyonun desteklenmesi, emosyonel gereksinimlerin karşılanması, uyku düzeninin sağlanması, mobilizasyon, yeterli hidrasyon ve beslenme, ilaç düzenlemesi, eliminasyonun izlenmesi, oksijenasyonun sağlanması ve ağrı kontrolünü kapsamaktadır (Avendaño-Céspedes ve ark., 2016).

Preoperatif Değerdendirme

Ortogeriatrik hastalarda özellikle cerrahi girişim öncesinde kapsamlı bir öykü alınmalı ve deliryum açısından riskli durumlar belirlenmelidir. Preoperatif dönemde yapılan sistematik

değerlendirme, postoperatif deliryum riskinin azaltılmasında önemli bir basamak olarak kabul edilmektedir (Lee ve ark., 2021; Devlin ve ark., 2018).

SONUÇ

Ortogeriatrik hastalarda deliryum; yüksek morbidite ve mortalite oranları, uzamış hastane yatış süresi, artan bakım maliyetleri ve fonksiyonel kayıplar ile ilişkili önemli bir klinik sorundur. Kalça kırığı gibi akut ortopedik durumlarla hastaneye yatırılan yaşlı bireylerde deliryum gelişme riski belirgin şekilde artmakta ve bu durum hasta güvenliğini doğrudan etkilemektedir. Deliryumun çok faktörlü etiyolojisi göz önünde bulundurulduğunda, erken tanılama, risk faktörlerinin sistematik biçimde değerlendirilmesi ve önleyici yaklaşımların uygulanması temel stratejiler arasında yer almaktadır.

Deliryum yönetiminde farmakolojik tedaviler sınırlı bir role sahip olup, kanıta dayalı uygulamalar öncelikle farmakolojik olmayan, çok bileşenli girişimlerin etkinliğini desteklemektedir. Bu noktada hemşireler; sürekli hasta gözlemi, bilişsel durumun düzenli değerlendirilmesi, fizyolojik dengenin korunması, çevresel düzenlemelerin sağlanması ve hasta-aile iş birliğinin desteklenmesi açısından kritik bir konumdadır.

Ortogeriatrik bakım modelinde multidisipliner yaklaşımın benimsenmesi, yapılandırılmış değerlendirme araçlarının kullanılması ve standart bakım protokollerinin uygulanması deliryum insidansını azaltmada ve klinik sonuçları iyileştirmede etkili olacaktır. Bu doğrultuda, hemşirelik uygulamalarının kanıta dayalı rehberler çerçevesinde yapılandırılması ve klinik ortamda sürdürülebilir önleme programlarının geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Avendaño-Céspedes, A., García-Cantos, N., González-Teruel, M.M., Martínez-García, M., Villarreal-Bocanegra, E., Oliver-Carbonell, J.L. Pilot study of a preventive multicomponent nurse intervention to reduce the incidence and severity of delirium in hospitalized older adults: MID-Nurse-P.Maturitas,86, 2016.

Barr, J., Fraser, G.L., Puntillo, K., Ely, E.W., Gelinas, C., Dasta, J.F., et al. Clinical practice guidelines for the management of pain, agitation, and delirium in adult patients in the intensive care unit. Critical Care Medicine, 41, 1, 2013.

Davis, D., Searle, S.D., Tsui, A. The scottish intrcollegiate guidelines network: risk reduction and management of delirium. Age and Ageing, 48, 2019.

Devlin, J.W., Skrobik, Y., Gelinas, C., Needham, D.M., Slooter, A.J., Pandharipande, P.P., et al. Clinical practice guidelines for the prevention and management of pain, agitation/sedation,

delirium, immobility, and sleep disruption in adult patients in the ICU. *Critical Care Medicine*, 46, 9, 2018.

Hshieh, T.T., Yue, J., Oh, E., Puelle, M., Dowal, S., Travison, T., Inouye, S.K. Effectiveness of multicomponent nonpharmacological delirium interventions: a meta-analysis. *JAMA Intern Med*, 175, 4, 2015.

Jaqua, E.E., Nguyen, V.T.N., Chin, E. Delirium in older persons: prevention, evaluation, and management. *Am Fam Physician*, 108, 3, 2023.

Jin, Z., Hu, J., Ma, D. Postoperative delirium: perioperative assessment, risk reduction, and management. *British Journal of Anaesthesia*, 125, 4, 2020.

Lee, Y., Lee, J., Kim, J., Jung, Y. Non-pharmacological nursing interventions for prevention and treatment of delirium in hospitalized adult patients: systematic review of randomized controlled trials. *Int J Environ Res Public Health*, 18, 16, 2021.

Ormseth, C.H., LaHue, S.C., Oldham, M.A., Josephson, S.A., Whitaker, E., Douglas, V.C. Predisposing and precipitating factors associated with delirium: a systematic review. *JAMA Netw Open*, 6, 1, 2023.

Özulu Türkmen, B. Geriatrik açıdan ameliyat öncesi ve sonrası beklenen ve beklenmeyen sorunlar; irdeleme ve tedavi. *TOTBİD Dergisi*, 20, 2021.

Sandeep, G., Ajit, A. Clinical practice guidelines for management of delirium in elderly. *Indian Journal of Psychiatry*, 60, 2018.

Sun, Z., Yang, D. Postoperative delirium in geriatric patients. *Anesth Analg.*, 137, 4, 2023.

Suzuki, R., Nakanishi, A., Masuya, M., Fukuroku, K., Taneda, Y., Matsuura, Y. Risk factors for postoperative delirium in patients undergoing orthopedic procedures: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 20, 4, 2025.

Unal, N., Guvenc, G., Naharci, M. Evaluation of the effectiveness of delirium prevention care protocol for the patients with hip fracture: A randomised controlled study. *J Clin Nurs*, 31, 7, 2022.

Wu, C.R., Chang, K.M., Tranyor, V., Chiu, H.Y. Global incidence and prevalence of delirium and its risk factors in medically hospitalized older patients: A systematic review and meta-analysis. *Int J Nurs Stud.*, 162, 2025.

HEMŞİRELİK BAKIMININ GELİŞEN ROLLERİNDEN BİRİ: HASTA MERKEZLİ BAKIM

Dr.Öğ.Üy. Sema KOÇAŞLI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, skocasli@yahoo.com.tr

ORCID ID: 0000-0002-5718-0669

ÖZET

Hemşireler tarihsel olarak hasta merkezli bir yaklaşım benimsemiş olsa da, hasta merkezli bakımın sağlık hizmetlerinde sistematik bir ilke haline gelmesi, 1980'lerde Picker Enstitüsü'nün çalışmalarıyla hız kazanmış ve günümüzde Hasta ve Aile Merkezli Bakım Enstitüsü tarafından geliştirilen temel ilkeler doğrultusunda yaygınlaşmıştır. Hasta/kişi merkezli bakım (Patient-Centered Care, PCC), bireyin değerlerini, tercihlerini ve inançlarını bakım sürecine entegre eden, ortak karar alma ve hasta özerkliğini temel alan bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım, hastaların bakımın pasif alıcıları olmaktan çıkıp aktif katılımcılar hâline gelmesini desteklemektedir.

Hemşirelik bakımında hasta merkezli yaklaşım; hastaların deneyimlerinin, gereksinimlerinin ve bireysel hedeflerinin bakım planına yansıtılmasını, hasta ve ailesinin bakım sürecine anlamlı biçimde dahil edilmesini ve bakımın bireyselleştirilmesini gerektirmektedir. Literatürde hasta merkezli bakımın; hasta memnuniyetini artırdığı, tedaviye uyumu güçlendirdiği, fonksiyonel iyileşmeyi desteklediği ve sağlık hizmeti kullanım maliyetlerini azaltabildiği bildirilmektedir. Bununla birlikte, kavramın tanımına ve uygulamadaki bileşenlerine ilişkin farklı yaklaşımlar bulunması, hemşirelik bakım sonuçları üzerindeki etkilerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Bu derlemenin amacı, hasta merkezli bakım yaklaşımının kavramsal çerçevesini incelemek, hemşirelik bakım uygulamaları üzerindeki etkilerini literatür doğrultusunda incelemektir.

Anahtar Kelimeler: Hasta merkezli bakım, hemşirelik bakımı, hasta sonuçları

ONE OF THE EVOLVING ROLES OF NURSING CARE: PATIENT-CENTERED CARE

Dr.Öğ.Üy., SEMA KOÇAŞLI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, skocasli@yahoo.com.tr

ORCID ID: 0000-0002-5718-0669

ABSTRACT

Although nurses have historically adopted a patient-centered approach, the establishment of patient-centered care as a systematic principle in health care gained momentum with the work of the Picker Institute in the 1980s and has since become widespread in line with the core principles developed by the Institute for Patient- and Family-Centered Care. Patient-/person-centered care (PCC) is defined as an approach that integrates individuals' values, preferences, and beliefs into the care process and is based on shared decision-making and patient autonomy. This approach supports patients in becoming active participants in their care rather than passive recipients.

In nursing practice, a patient-centered approach requires that patients' experiences, needs, and individual goals be reflected in care planning, that patients and their families be meaningfully involved in the care process, and that care be individualized. The literature reports that patient-centered care increases patient satisfaction, strengthens adherence to treatment, supports functional recovery, and may reduce health care utilization costs. However, variations in the definition of the concept and its components in practice necessitate a comprehensive evaluation of its effects on nursing care outcomes.

The aim of this review is to examine the reflections of the patient-centered care approach on nursing practice and its effects on patient-centered outcomes in light of the literature, and to synthesize findings related to patient safety, quality of care, patient satisfaction, and clinical outcomes.

Keywords: Patient-centered care, nursing care, patient outcomes

1.GİRİŞ

Hemşirelik disiplini tarihsel olarak bireyi merkeze alan bir bakım anlayışını benimsemiş olsa da, hasta merkezli bakımın sağlık sistemlerinde yapılandırılmış ve kurumsal bir ilke haline gelmesi 1980’li yıllarda Picker Enstitüsü’nün kurulmasıyla ivme kazanmıştır. Günümüzde bu yaklaşım, Hasta ve Aile Merkezli Bakım Enstitüsü tarafından sürdürülmekte ve Picker Enstitüsü tarafından tanımlanan sekiz temel ilke doğrultusunda sağlık hizmetlerinde yaygın biçimde uygulanmaktadır (Ortiz, 2018; Rossiter ve ark., 2020).

Hasta merkezli bakım; bireyin gereksinimlerini, tercihlerini ve değerlerini temel alan, sağlık profesyonelleri ile hasta ve ailesi arasında iş birliğini esas alan bir bakım modelidir. Bu yaklaşımda bakım, hastalığa değil bireye odaklanmaktadır (Goldfarb ve Gulati, 2017; Souraya ve ark., 2006). “Hasta merkezli bakım” ya da “kişi odaklı bakım” kavramı, hasta özerkliğini destekleyen ve ortak karar alma sürecini merkeze alan bir anlayışı ifade etmektedir (Grover ve ark., 2022). Bu modelde bireyin değerleri, inançları ve yaşam öncelikleri klinik kararların ayrılmaz bir parçası haline gelmekte; böylece hem klinik açıdan uygun hem de hasta açısından anlamlı bir bakım planı oluşturulmaktadır. Hastalar bu süreçte pasif bakım alıcıları olmaktan çıkarak, bilinçli ve aktif katılımcılar haline gelmektedir (Lanberg ve ark., 2019).

Tıp Enstitüsü (Institute of Medicine), hasta merkezli bakımı; klinik kararların hastanın ihtiyaçlarına, tercihlerine ve değerlerine saygı gösterilerek ve bu doğrultuda şekillendirilerek alınması olarak tanımlamıştır (Kwame ve Petrucka, 2021; Souraya ve ark., 2006). Bu yaklaşım, 21. yüzyılda güvenli, etkili, zamanında, verimli ve eşitlikçi sağlık hizmetinin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Benzer şekilde Dünya Sağlık Örgütü, hasta merkezli bakımın sağlık sistemlerinin güçlendirilmesinde temel hedeflerden biri olduğunu vurgulamıştır (DSÖ, 2013).

Hemşirelik bakımında kişi merkezli yaklaşım; hastanın yaşam öyküsünü, deneyimlerini ve bireysel bilgisini dikkate almayı, bakım sürecine aktif katılımını teşvik etmeyi ve bireyin değerlerine saygı duyan bir bakım ortamı oluşturmayı gerektirir (Bakır ve Demir, 2020; Rossiter ve ark., 2020). Bu doğrultuda hemşireler, hastaları ve ailelerini karar verme süreçlerine dahil etmeli, açık iletişimi desteklemeli ve bakım planlarını bireyselleştirmelidir (Grover ve ark., 2020; Lanberg ve ark., 2019).

Sonuç olarak hasta merkezli bakım, hastalık odaklı yaklaşımlardan uzaklaşarak bireyin ihtiyaçlarını, deneyimlerini ve algılarını sağlık hizmetlerinin planlanması ve sunumuna entegre eden bütüncül bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Hemşirelik uygulamalarında bu yaklaşımın benimsenmesi; bakım kalitesinin artırılması, hasta memnuniyetinin yükseltilmesi ve sağlık sonuçlarının iyileştirilmesi açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Velioğlu 2012).

Hasta Merkezli Bakımın Yapısı ve Kavramsal İçeriği

Hasta merkezli bakımın (PCC) kavramsal çerçevesi, yapı–süreç–sonuç modeli temelinde üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu model, hasta merkezli uygulamaların sağlık sistemine nasıl entegre edildiğini ve hangi çıktıları ürettiğini sistematik biçimde açıklamaktadır (Santana ve ark., 2018).

1. Yapı (Structure)

Yapı boyutu, hasta merkezli bakımın uygulanabilmesi için gerekli kurumsal ve organizasyonel altyapıyı ifade etmektedir. Bu basamak; sağlık sisteminin kaynaklarını, insan gücünü, kültürel yapısını ve teknolojik donanımını kapsayan temel koşulları içermektedir. PCC'nin sürdürülebilir biçimde hayata geçirilebilmesi için aşağıdaki ön koşulların sağlanması gerekmektedir:

- Kurum genelinde hasta merkezli bakım kültürünün oluşturulması,
- Eğitim programlarının hasta ve paydaş katılımıyla tasarlanması ve uygulanması,
- Sağlığı geliştirme ve hastalıkları önleme programlarının ortak tasarım anlayışıyla yürütülmesi,
- Hasta merkezli yaklaşıma bağlı ve yetkin bir iş gücünün desteklenmesi,
- Fiziksel ve örgütsel açıdan destekleyici bir bakım ortamının sağlanması,
- Sağlık bilişim sistemlerinin geliştirilmesi ve hasta merkezli uygulamalarla bütünleştirilmesi,
- PCC performansının ölçülmesi ve izlenmesine yönelik değerlendirme mekanizmalarının oluşturulması.

Bu bileşenler, hasta merkezli bakımın yalnızca bireysel bir yaklaşım değil, kurumsal düzeyde benimsenmesi gereken sistematik bir model olduğunu göstermektedir (Rossiter ve ark 2020).

2. Süreç (Process)

Süreç boyutu, hasta ile sağlık profesyonelleri arasındaki etkileşimi ve bakımın sunum biçimini kapsamaktadır. Bu aşama, hasta merkezli bakımın günlük klinik uygulamalara nasıl yansıdığını açıklamaktadır. Süreç kapsamında;

- Etkili ve açık iletişimin sağlanması,
- Saygılı, şefkatli ve empatik bakım sunulması,
- Hastaların kendi bakımlarını yönetme sürecine aktif katılımının desteklenmesi,
- Hizmetler arası koordinasyonun ve bakımın entegrasyonunun sağlanması temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bu boyut, ortak karar alma ve hasta özerkliğinin güçlendirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Ortiz 2018).

3. Sonuçlar (Outcomes)

Sonuç boyutu, hasta merkezli bakım uygulamalarının sağlık sistemi ve hasta düzeyinde yarattığı etkileri ortaya koymaktadır. Bu kapsamda iki temel çıktı alanı bulunmaktadır:

a) Bakıma Erişim:

- Uzman görüşü ve konsültasyon için bekleme süreleri,
- Mesai saatleri içinde ve dışında sağlık hizmetlerine ulaşılabilirlik,
- Tamamlayıcı tedaviler, diş sağlığı, ilaç hizmetleri ve acil sağlık hizmetleri dâhil olmak üzere bakımın ekonomik açıdan erişilebilirliği (Rossiter ve ark 2020).

b) Hasta Tarafından Bildirilen Sonuçlar (Patient-Reported Outcomes):

- Sağlıkla ilişkili yaşam kalitesi,
- Semptom yükü,
- Fonksiyonel durum,
- Psikososyal iyilik hali,
- Yeni gelişen veya kötüleşen belirtiler,
- Sağlık kuruluşlarına planlanmamış başvurular.

Bu göstergeler, hasta merkezli bakımın klinik ve deneyimsel değerini ortaya koymakta ve uygulamanın etkinliğinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Santana ve ark., 2018; Souraya ve ark., 2006; Rossiter ve ark., 2020).

Hasta Merkezli Bakım İlkeleri

Hasta merkezli bakımın sekiz tane ilkesi bulunmaktadır. Bu ilkeler; (i) hasta değerlerine, tercihlerine ve ihtiyaçlarına saygı göstermek, (ii) bakımın koordinasyonu ve entegrasyonu, (iii) bilgi, iletişim ve eğitim sağlamak, (iv) fiziksel konforu sağlamak, (v) duygusal destek ve kaygıyı hafifletmek, (vi) aile ve arkadaşların dahil edilmesi ve desteklenmesi, (vii) süreklilik ve bakım geçişlerinin yönetimi ve bakıma erişimin kolaylaştırılmasıdır (Ortiz, 2018; Picker Enstitüsü, 2025). Bu ilkeler, tüm hastaların yüksek kaliteli sağlık hizmetini hak ettiğine ve hastaların görüş ve deneyimlerinin sağlık hizmetlerinin iyileştirilmesi için temel olduğuna olan inanç odaklanır. Bu inanç, hemşirelik teorileri ve modellerinde yer alan benzersiz hemşirelik bilgisine gömülü kavram ve ilkelerle ve hemşirelerin sağlık ortamlarında uygulamaları etkileyen politikalar geliştirme biçimleriyle tutarlıdır (Knickman ve Kover, 2015, Rossiter ve ark 2020).

(i) Hasta Değerlerine, Tercihlerine ve İhtiyaçlarına Saygı Göstermek

Hasta değerlerine ve tercihlerine saygı, hasta merkezli bakımın temel bileşenlerinden biridir ve hemşirelik uygulamalarında bireyselleştirilmiş bakımın anahtarıdır. Bu ilke doğrultusunda hemşire, hastanın kültürel özelliklerini, yaşam tarzını, inanç sistemini, sağlık algısını ve kişisel önceliklerini bütüncül bir değerlendirme süreciyle ele almalıdır. Elde edilen veriler doğrultusunda bakım planı bireye özgü biçimde düzenlenmeli ve hastanın aktif katılımı desteklenmelidir (Arakelian ve ark., 2017).

Bilgilendirilmiş onam sürecinin etkili şekilde yürütülmesi, tedavi seçeneklerinin açık ve anlaşılır biçimde sunulması ve ortak karar verme yaklaşımının benimsenmesi hemşirenin profesyonel sorumlulukları arasındadır. Bununla birlikte iletişim sürecinde saygılı, empatik,

yargılayıcı olmayan ve mahremiyeti gözeten bir tutum sergilenmesi büyük önem taşımaktadır. Hastanın kendini güvende, değerli ve anlaşılmış hissetmesi; bakım sürecine uyumunu artırmakta ve iyileşme sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir (Rossiter ve ark., 2020; Souraya ve ark., 2006).

(ii) Aile ve Arkadaşların Bakıma Dahil Edilmesi ve Desteklenmesi

Hasta merkezli yaklaşımda aile ve yakın çevre, bakım sürecinin destekleyici ve tamamlayıcı bir unsuru olarak kabul edilmektedir. Hemşire, hastanın sosyal destek sistemini değerlendirmeli ve hastanın onayı doğrultusunda aile bireylerini uygun düzeyde bakım sürecine dahil etmelidir. Aile üyelerine hastalığın seyri, tedavi planı ve bakım gereksinimleri hakkında düzenli ve anlaşılır bilgi verilmesi, bakım verici rollerine uyum sağlamalarını kolaylaştırmaktadır (Arakelian ve ark., 2017).

Ayrıca ailelerin duygusal gereksinimleri de göz önünde bulundurulmalı; stres, belirsizlik ve bakım yükünü azaltmaya yönelik destekleyici girişimler planlanmalıdır. Özellikle taburculuk sonrası dönemde aile katılımı, bakımın sürekliliğini sağlamak, komplikasyon riskini azaltmak ve yeniden hastaneye yatışları önlemek açısından kritik bir rol oynamaktadır (Picker Enstitüsü, 2025; Ortiz, 2018).

Hasta değerlerine ve tercihlerine saygı gösterilmesi ile aile ve yakınların sürece dahil edilmesi ilkeleri, bireyin yaşamında anlamlı olan unsurlara ve kişiler arası bağlara odaklanmaktadır. Bu yaklaşım, hemşirelik kuram ve modellerinde yer alan insanı bütüncül ve ilişkisel bir varlık olarak ele alma anlayışıyla örtüşmektedir (Souraya ve ark., 2006). Örneğin, Roy Adaptation Model'in karşılıklı bağımlılık modu, bireyin güven duygusunu besleyen, sevgi, saygı ve değer verme–alma etkileşimlerini içeren ilişkisel bütünlüğe vurgu yapmaktadır (Uzun, 2017). Benzer şekilde, Leininger'in kültürlerarası hemşireliği, kültürel değerlere, inançlara ve uygulamalara duyarlı bakımın gerekliliğini savunmakta; bakımın kültürel uyum, bütüncüllük ve yararlılık temelinde şekillendirilmesini önermektedir (Grover ve ark., 2022). Ayrıca Watson'ın (2015) kişilerarası bakımı, bireyin öznel deneyimine ve iç dünyasına duyarlı bir yaklaşımı merkeze almakta; hemşire–hasta ilişkisinde saygı, empati ve yargılamadan kabul etme ilkelerini vurgulamaktadır (Watson, 2007; Watson, 2011). Bu kuramsal temeller, hasta merkezli bakımın yalnızca bir uygulama modeli değil; hemşireliğin insancıl, etik ve bütüncül doğasıyla uyumlu bir bakım felsefesi olduğunu göstermektedir.

(iii) Bakımın Koordinasyonu ve Entegrasyonu

Bakımın koordinasyonu ve entegrasyonu, hasta merkezli yaklaşımın sürekliliğini sağlayan temel unsurlardan biridir. Bu ilke, farklı disiplinler arasında etkili iletişim kurulmasını, hizmetlerin eşgüdüm içinde yürütülmesini ve bakım sürecinin bütüncül bir perspektifle planlanmasını gerektirir. Hemşire, bu süreçte çoğu zaman koordinatör rolünü üstlenerek klinik bakım, destek hizmetleri ve taburculuk planlaması gibi aşamalar arasında bağlantı kurar (Arakelian ve ark., 2017).

Hemşirenin temel sorumlulukları arasında; hastanın bireysel gereksinimlerini esas alarak ekip içi iletişimi güçlendirmek, bakım sürekliliğini sağlamak, gereksiz hizmet tekrarlarını önlemek ve disiplinler arası iş birliğini desteklemek yer almaktadır. Bununla birlikte hasta ve ailesinin bakım sürecine ilişkin belirsizlik algısını azaltmak amacıyla bakım planı hakkında düzenli, açık ve anlaşılır bilgilendirme yapılmalıdır. Hasta güvenliğini önceleyen uygulamaların sürdürülmesi de koordinasyonun önemli bir boyutunu oluşturmaktadır. Etkili biçimde yürütülen bakım koordinasyonu; komplikasyon riskini azaltmakta, bakım kalitesini artırmakta ve klinik sonuçların iyileşmesine katkı sağlamaktadır (Rossiter ve ark., 2020; Souraya ve ark., 2006).

Hemşirelik kuram ve modelleri, bakımın koordinasyonu ve bütünleştirilmesinin birey odaklı uygulamalar içinde nasıl somutlaştığını açıklamaktadır. Özellikle Watson'ın (2015) bakım teorisinde, bakımın yalnızca teknik müdahalelerden ibaret olmadığı; ilişki temelli, sürekli ve bütüncül bir süreç olduğu vurgulanmaktadır. Bu kuramsal çerçevede hemşire, belirli bir hasta ve aile grubuna yönelik olarak iş birliğine dayalı, kapsamlı ve sürekliliği olan terapötik bakım uygulamalarını planlamak ve yürütmekle sorumludur (Watson, 2011).

Watson'ın yaklaşımı, disiplinler arası iş birliği ve ilişki merkezli bakım anlayışıyla bakımın entegrasyonunu desteklemekte; hemşireyi bakım sürecinin düzenleyici ve bütünleştirici aktörü olarak konumlandırmaktadır. Bu bağlamda bakım koordinasyonu, hasta merkezli bakımın hem uygulama hem de etik boyutunu güçlendiren bir mekanizma olarak değerlendirilebilir.

(iv) Bilgi, İletişim ve Eğitim Sağlamak

Hasta merkezli bakım yaklaşımında bilgi paylaşımı ve etkili iletişim, hastanın sağlık durumunu anlamasını, bilinçli kararlar almasını ve öz bakım davranışlarını geliştirmesini destekleyen temel unsurlardır. Hemşire, hastanın öğrenme gereksinimlerini bireysel özellikleri doğrultusunda değerlendirmeli; bilişsel düzeyi, sağlık okuryazarlığı, kültürel yapısı ve psikososyal durumu göz önünde bulundurarak uygun eğitim yöntemlerini seçmelidir (Rossiter ve ark., 2020).

Eğitim süreci yalnızca bilgi aktarmayı değil; hastanın karar verme sürecine aktif katılımını desteklemeyi, öz yeterlilik algısını güçlendirmeyi ve sorumluluk alma kapasitesini artırmayı da içermektedir. Açık, tutarlı ve empatik bir iletişim yaklaşımı, hastanın kaygı düzeyini azaltırken bakım sürecine güven duymasını kolaylaştırır. Bununla birlikte hasta ve ailesinin soru sormasını teşvik eden, karşılıklı etkileşime dayalı bir iletişim ortamının oluşturulması terapötik ilişkiyi güçlendirmektedir (Arakelian ve ark., 2017).

Hemşirelik kuram ve modelleri, hasta ve ailesiyle kurulan etkili iletişimi bakımın merkezine yerleştirmektedir. Örneğin, King'in (1997) Hedef Başarısı Teorisi, kişisel, kişilerarası ve sosyal sistemlerden oluşan üçlü bir yapı önermektedir. Bu sistemler içinde özellikle kişilerarası sistem; etkileşim, iletişim, rol, işlem ve stres kavramları aracılığıyla hasta merkezli bilgi paylaşımı ve eğitim süreciyle doğrudan ilişkilidir (Fawcett, 2005). Benzer şekilde, Orem'in (2006) Hemşirelik Sistemleri Teorisi, bireyin öz bakım gereksinimlerinin karşılanmasında hemşire ve

hasta arasındaki iş birliğini açıklamaktadır. Teori kapsamında tanımlanan tamamen telafi edici, kısmen telafi edici ve destekleyici-eğitici sistemler arasında özellikle destekleyici-eğitici sistem, hasta merkezli bilgi ve eğitim uygulamalarının kuramsal temelini oluşturmaktadır (Velioğlu, 2012). Bu sistemde hemşire, hastanın bilgi düzeyini artırarak öz bakım kapasitesini geliştirmeyi hedeflemektedir.

(v) Fiziksel Konforu Sağlamak

Fiziksel konforun sağlanması, hasta deneyiminin temel belirleyicilerinden biri olup hemşirelik bakımının vazgeçilmez bir boyutunu oluşturmaktadır. Hemşire; ağrı, bulantı, yorgunluk, uyku sorunları ve hareket kısıtlılığı gibi semptomları düzenli aralıklarla değerlendirmeli ve uygun girişimleri zamanında uygulamalıdır (Langberg ve ark., 2019).

Bunun yanı sıra pozisyon verme, cilt bütünlüğünü koruma, beslenme ve sıvı alımını destekleme gibi temel bakım uygulamaları titizlikle sürdürülmelidir. Fiziksel gereksinimlerin karşılanması yalnızca semptom kontrolünü değil; aynı zamanda hastanın psikolojik iyilik halini ve genel iyileşme sürecini de olumlu yönde etkilemektedir (Arakelian ve ark., 2017; Souraya ve ark., 2006).

Birçok hemşirelik kuramı, fiziksel bakımın ve semptom yönetiminin önemini vurgulayan kavramsal çerçeveler sunmaktadır. Örneğin, Roy'un Adaptasyon Modeli bireyi çevresel uyaranlara yanıt veren adaptif bir sistem olarak tanımlamaktadır. Modelde yer alan düzenleyici alt sistem; nörolojik, kimyasal ve endokrin süreçleri kapsayarak bireyin fizyolojik uyum mekanizmalarını açıklamakta ve fiziksel bakım uygulamalarına kuramsal temel sağlamaktadır (Uzun, 2017). Benzer biçimde, öz bakım gereksinimleri, yaşamı, sağlığı ve iyilik halini sürdürmeye yönelik eylemler olarak tanımlanmaktadır. Özellikle sağlık sapması öz bakım gereksinimleri; hastalık, yaralanma veya profesyonel sağlık hizmeti gerektiren durumlara özgü bakım uygulamalarını kapsamaktadır (Velioğlu, 2012). Bu yaklaşım, hastanın fiziksel konforunu destekleyen hemşirelik girişimlerinin kuramsal dayanağını oluşturmaktadır.

(vi) Duygusal Destek ve Kaygıyı Hafifletmek

Hastalık deneyimi ve hastanede yatış süreci, bireylerde belirsizlik, kontrol kaybı, korku ve kaygı gibi yoğun duygusal tepkilere yol açabilmektedir. Hasta merkezli bakım yaklaşımında hemşire, hastanın duygusal durumunu erken dönemde değerlendirmeli ve psikososyal gereksinimlerini bütüncül bir bakış açısıyla ele almalıdır (Arakelian ve ark., 2017).

Empatik iletişim kurmak, aktif dinleme becerilerini kullanmak ve hastanın duygularını güvenli bir ortamda ifade etmesine olanak tanımak bu sürecin temel bileşenleridir. Gereksinim duyulduğunda psikolojik danışmanlık veya ruh sağlığı hizmetlerine yönlendirme yapılmalı; ayrıca hastaya etkili baş etme stratejileri kazandırılmalıdır. Duygusal destek mekanizmalarının güçlendirilmesi, tedaviye uyumu artırmakta, stres düzeyini azaltmakta ve hasta memnuniyetini olumlu yönde etkilemektedir (Rossiter ve ark., 2020).

Duygusal destek boyutu, özellikle hemşire–hasta ilişkisini merkeze alan kuramlarla yakından ilişkilidir. Örneğin, Peplau’nun (1952/1991) Kişilerarası İlişkiler Teorisi hemşireliği terapötik ve anlamlı bir kişilerarası süreç olarak tanımlamaktadır. Bu kuramda oryantasyon, çalışma ve çözüm aşamalarından oluşan ilişki süreci; hastanın duygusal gereksinimlerinin tanınması ve desteklenmesi açısından sistematik bir çerçeve sunmaktadır (McEwen ve Wills, 2019).

Benzer biçimde, Orlando’nun (1960/1990) Dinamik Hemşire-Hasta İlişkisi Teorisi hemşireliğin kişilerarası yönünü vurgulayarak bireyin acı, umut ve anlam arayışı gibi deneyimlerine odaklanmaktadır. Bu kuramsal yaklaşımlar, hemşirelik bakımının özgünlüğünü ve terapötik ilişki boyutunu ön plana çıkararak duygusal desteğin profesyonel temellerini oluşturmaktadır (Pinheiro ve ark., 2019; Velioğlu, 2012).

(vii) Süreklilik ve Bakım Geçişlerinin Yönetimi ve Bakıma Erişimin Kolaylaştırılması

Hasta merkezli bakımın temel ilkelerinden biri, sağlık hizmetlerine zamanında, eşit ve sürdürülebilir erişimin sağlanmasıdır. Hemşire, hastanın sağlık hizmetlerine ulaşımını etkileyebilecek bireysel, sosyal ve ekonomik engelleri değerlendirmeli; gerekli yönlendirmeleri yaparak destekleyici bir rol üstlenmelidir (Arakelian ve ark., 2017).

Randevu planlaması, danışmanlık hizmetlerine erişim ve sosyal destek birimlerine yönlendirme konularında rehberlik edilmesi; özellikle sağlık okuryazarlığı sınırlı bireylerde daha yapılandırılmış ve anlaşılır bilgilendirme süreçlerinin yürütülmesi önem taşımaktadır. Bakıma erişimin güçlendirilmesi, yalnızca hizmet kullanımını artırmakla kalmayıp sağlık çıktılarının iyileştirilmesinde de belirleyici bir rol oynamaktadır (Rossiter ve ark., 2020).

Bakım geçişleri (örneğin hastaneden eve veya farklı bir kuruma geçiş), hasta güvenliği açısından kritik ve riskli dönemlerdir. Bu nedenle taburculuk planlaması mümkün olan en erken aşamada başlatılmalı; hastanın evde bakım gereksinimleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmelidir. Taburculuk eğitimi; ilaç yönetimi, semptom izlemi, kontrol randevuları ve acil durum belirtilerini kapsamalıdır. Ayrıca birinci basamak sağlık hizmetleri ve diğer bakım sağlayıcıları ile etkili iletişim kurularak bakımın sürekliliği desteklenmelidir. Etkili geçiş yönetimi, yeniden hastaneye yatış oranlarını azaltmakta ve hasta güvenliğini artırmaktadır (Arakelian ve ark., 2017; Picker Enstitüsü, 2025).

SONUÇ

Hasta değerlerine saygı gösterilmesi, aile katılımının desteklenmesi, etkili iletişim kurulması, bakımın koordinasyonunun sağlanması, fiziksel ve duygusal konforun korunması, bakım sürekliliğinin güvence altına alınması ve sağlık hizmetlerine erişimin kolaylaştırılması; hasta merkezli bakım yaklaşımının temel yapı taşlarını oluşturmaktadır. Bu bileşenler, bakımın yalnızca klinik gereksinimlere değil, bireyin bütüncül ihtiyaçlarına yanıt verecek şekilde planlanmasını gerektirmektedir.

Hasta merkezli bakım ilkelerinin standart bakım protokollerine sistematik biçimde entegre edilmesi; bireyselleştirilmiş bakım planlarının geliştirilmesini, disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesini ve bakım süreçlerinin daha etkin yönetilmesini desteklemektedir. Hemşirelerin eğitim, danışmanlık ve koordinasyon rollerinin güçlendirilmesi ise hastaların öz bakım kapasitelerini artırmakta, tedaviye uyumlarını iyileştirmekte ve sağlık sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir.

Bu yaklaşım yalnızca klinik iyileşme göstergelerine değil; hasta memnuniyetine, algılanan bakım kalitesine ve sağlık hizmetlerinin verimliliğine de katkı sağlamaktadır. Bu doğrultuda, hastanelerde hasta merkezli bakım temelli hemşirelik uygulamalarını destekleyen klinik rehberlerin geliştirilmesi, bakım algoritmalarının oluşturulması ve hizmet içi eğitim programlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir. Böylece hasta merkezli bakımın kuramsal temelleri, klinik uygulamalara sürdürülebilir ve ölçülebilir biçimde yansıtılabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Arakelian, E., Swenne, C.L., Lindberg, S., Rudolfsson, G., von Vogelsang, A.C. The meaning of person-centred care in the perioperative nursing context from the patient's perspective-an integrative review. *J Clin Nurs.*, 26, 17, 2017.
2. Bakır, N., Demir, C. (2020). Hemşirelerin hasta merkezli bakım yeterliliği ve bütüncül hemşirelik yeterliliği. *Cumhuriyet Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5, 3, 2020.
3. Fawcett, J. Chapter 5: King's Conceptual System. In: DaCunda JP, Kern KL, Martin JH, ed. *Contemporary Nursing Knowledge. Analysis and Evaluation of Nursing Models and Theories*. 2th ed. Philadelphia. F.A. Davis Company. Inc; 2005.
4. Goldfarb, M., Gulati, M. A cardiology Fellow's guide to patient-centered care. *Journal of the American College of Cardiology*, 69, 23, 2017.
5. Grover, S., Fitzpatrick, A., Azim, F.T., Ariza-Vega, P., Bellwood, P., Burns, J., Burton, E., Fleig, L., Clemson, L., Hoppmann, C.A., Madden, K.M., Price, M., Langford, D., Ashe, M.C. Defining and implementing patient-centered care: An umbrella review. *Patient Educ Couns.*, 105, 7, 2022.
6. Knickman, J.R., Kover, A.R. (Eds.). *Health care delivery in the United States* (11th ed.). New York, NY: Springer Publishing Co. 2015.
7. Kwame, A., Petrucka, P.M. A literature-based study of patient-centered care and communication in nurse-patient interactions: barriers, facilitators, and the way forward. *BMC Nurs*, 20, 158, 2021.
8. Langberg, EM., Dyhr, L., Davidsen, AS. Development of the concept of patient-centredness - A systematic review. *Patient Educ Couns.*, 102, 7, 2019.
9. McEwen, M., Wills, E. *Theoretical Basis For Nursing* (5th Editio). Philadelphia: Wolters Kluwer. 2019.
10. Ortiz, M.R. Patient-Centered Care: Nursing Knowledge and Policy. *Nurs Sci Q.*, 31, 3, 2018.
11. Pinheiro, C.W, Carneiro Rolim, K.M, Magalhães, F.J, Albuquerque, F.H, Marques Araújo, M.A, Martins, H.V. Current panorama of the theory of Travelbee: an integrative review, *International Journal of Development Research*, 9, 6, 2019.
12. Picker Enstitüsü (2025). The Picker Principles of Person Centred care. <https://picker.org/who-we-are/the-picker-principles-of-person-centred-care/>

13. Rossiter, C., Levett-Jones, T., Pich, J. The impact of person-centred care on patient safety: An umbrella review of systematic reviews. *Int J Nurs Stud.*,109, 2020.
14. Santana, M.J., Manalili, K., Jolley, R.J., Zelinsky, S., Quan, H., Lu, M. How to practice person-centred care: A conceptual framework. *Health Expect.*, 21, 2, 2018.
15. Souraya, S., Epstein, D. ve Miranda, J. Eliciting Patient Treatment Preferences: A Strategy to Integrate Evidence-Based and Patient-Centered Care. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 3, 3, 2006.
16. Uzun, Ş. Sister Callista Roy: Adaptasyon modeli. *İçinde: Karadağ A, Çalışkan N, Baykara ZG (ed) Hemşirelik Teorileri ve Modelleri*, (s.382-397). İstanbul: Akademi Basın ve Yayıncılık. 2017.
17. Velioğlu, P. Hemşirelikte Kavram ve Kuramlar. Akademi Basın ve Yayıncılık. 2012.
18. Watson, J. Watson's theory of human caring and subjective living experiences: carative factors/caritas processes as a disciplinary guide to the professional nursing practice. *Texts Contexts Enferm, Florianópolis*, 16,1, 2007.
19. Watson, J. *Human caring science: A theory of nursing* (2th ed.). (pp. 46-81). New York: Jones & Bartlett Learning.2011.
20. WHO (2013). People-Centred Health Care.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789290613176>

ANTİMİKROBİYAL PEPTİTLERİN NANOKOMPOZİTLERİ

DR. SEDEF KAPTAN USUL

Gebze Teknik Üniversitesi

sedefkaptan@gtu.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0002-8178-9343>

ÖZET

Sağlık alanında yeni tanı ve tedavi yöntemlerinin geliştirilmesi, toplum sağlığını etkileyen faktörlerin değerlendirilmesi ve bu alanda yenilikçi biyoteknolojik yaklaşımlar oldukça önemlidir. Özellikle hastalıkların tedavisinde antibiyotik kullanımı ve toplum sağlığını etkileyen salgınlar sebebiyle dezenfeksiyonun önem kazanması bu yöndeki çalışmaların önem ve gerekliliğini arz etmektedir. Antibiyotiklerin kimi zaman bilinçsiz ve gereksiz kullanımı ne yazık ki antibakteriyel direnç sorununa yol açar. Bu anlamda antibakteriyel direncin önüne geçilmesi, alternatif ilaç ve yöntemlerin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalara katkı sağlayan yenilikçi yaklaşımlardan biri de antimikrobiyal peptitlerin kullanımıdır. Antimikrobiyal peptitler (AMP'ler), ilaca dirençli suşlar da dahil olmak üzere geniş bir bakteri spektrumuna karşı güçlü aktiviteleri nedeniyle antibiyotiklerin potansiyel ikameleri olarak kabul edilmektedir. AMP'ler ayrıca biyofilm oluşumunu önler veya olgun biyofilm kütlelerini azaltılmasına katkı sağlar. AMP'lerin etkili antimikrobiyal uygulamalar için kullanımının bazı engeller bulunmaktadır; yeterince kararlı olmamaları, kısa yarılanma ömrüne sahip olmaları ve biyolojik ortamlarda kısa sürede bozunmaları bu duruma örnek olarak gösterilebilir. Bunların üstesinden gelmek için sentetik biyolojik prosedürler ile yüksek aktivite ve stabiliteye sahip kısa peptitler üretilerek bunların nanopartikül, polimer gibi kimyasal ve termal kararlı yapılara biyokonjugasyonu gerçekleştirilmektedir. AMP'lerin genellikle basit klik kimyası reaksiyonları kullanılarak kimyasal konjugasyonu genellikle N terminalinde, C terminalinde, lizin (birincil amin grubu) kalıntıları veya sistein (sülfidril grubu) kalıntıları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, antimikrobiyal peptitlerin nanopartiküllerle biyokonjugasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu konjugasyonu doğrulayacak yapısal ve kimyasal karakterizasyon (FTIR, SEM, EDX v.s.) testleri gerçekleştirilerek ve bu sistemlerin biyoteknolojik uygulamalar için uygunluğu incelenmiştir. Elde edilen verilerin, biyoteknolojik değeri yüksek, yeni nesil ürünlerin geliştirilmesine temel oluşturması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal, peptit, nanokompozit, biyokonjugat

İNSAN FAKTÖRÜNÜN KARAR VERME SÜREÇLERİNE ETKİSİ: HATALAR ÜZERİNE BİR İNCELEME

THE IMPACT OF THE HUMAN FACTOR ON DECISION MAKING PROCESSES: A REVIEW OF ERRORS

Emrehan TAŞTEKİN (0009-0009-2591-4064)

Lisans, Ostim Teknik Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği, Ankara-Türkiye

Mail: emrehantastekn@gmail.com

+90 544 224 47 37

Rabia Nisa ÇINAR (0009-0009-0305-8228)

Lisans, Çankaya Üniversitesi / Endüstri Mühendisliği, Ankara-Türkiye

Mail: nisacinar536@gmail.com

+90 545 696 06 55

Özet

Karar verme süreçleri, bireylerin ve örgütlerin karşılaştıkları durumlar karşısında alternatifler arasından seçim yapmalarını sağlayan temel bilişsel süreçler olarak tanımlanmaktadır. Teorik modeller bu süreçleri çoğunlukla rasyonel varsayımlar çerçevesinde ele alsa da, gerçek karar ortamlarında insan faktörünün belirleyici olduğu görülmektedir. Bireylerin sınırlı bilgiye sahip olmaları, zaman baskısı altında hareket etmeleri ve belirsizlik içeren koşullarla karşı karşıya kalmaları, kararların hataya açık hale gelmesine neden olmaktadır. Bu durum, karar verme sürecinde sistematik hataların ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Özellikle sorumluluk düzeyi yüksek karar anlarında, risk içeren durumlarda ve geri dönüşü olmayan sonuçların söz konusu olduğu süreçlerde hata yapma eğiliminin arttığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda teknolojik sistemlerin karar süreçlerine dâhil edilmesiyle birlikte, bireylerin sistem çıktıları ile kendi değerlendirmeleri arasında tercih yapmak zorunda kaldıkları durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu tür durumlarda bireylerin kontrol algısı, sorumluluk paylaşımı ve güven düzeyi karar davranışlarını etkilemektedir. İnsanların teknoloji ile karşı karşıya kaldıklarında kendi yargılarını mı yoksa sistem önerilerini mi tercih ettikleri, hata oluşum sürecinde önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, insan faktörünün karar verme süreçlerindeki rolü ve hataların hangi koşullar altında ortaya çıktığı incelenecek, karar davranışlarının oluşumunda etkili olan temel unsurlar ortaya konulacaktır. Bu doğrultuda, teknoloji destekli karar sistemlerinin aktif olarak kullanıldığı bir işletmedeki süreçlerin vaka analizi yöntemiyle incelenmesi planlanmaktadır. Yapılacak analiz ile özellikle zaman baskısı altındaki durumlarda bireylerin sistem verileri yerine sezgisel yargılarına yönelme eğiliminin ve bu durumun hata oranlarına etkisinin somut verilerle gösterilmesi hedeflenmektedir. Elde edilecek değerlendirmeler ile karar verme süreçlerinin daha sağlıklı anlaşılmasına katkı sağlanması amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karar Verme, İnsan Faktörü, Bilişsel Hatalar, Teknoloji ve Karar, Davranışsal Karar Verme

Abstract

Decision-making processes are defined as fundamental cognitive processes that enable individuals and organizations to choose among alternatives in response to the situations they encounter. Although theoretical models generally address these processes within the framework of rational assumptions, the human factor is observed to be a determining element in real decision environments. The presence of limited information, time pressure, and uncertainty causes decisions to become more prone to error. This situation leads to the emergence of systematic errors within the decision-making process. The tendency to make errors is observed to increase particularly in decision situations involving high levels of responsibility, risk, and irreversible outcomes. In addition, with the integration of technological systems into decision-making processes, situations arise in which individuals are required to choose between system-generated outputs and their own judgments. In such contexts, individuals' perceptions of control, responsibility sharing, and trust significantly influence decision behavior. Whether individuals prioritize their own judgments or system recommendations when confronted with technology is considered an important factor in the formation of decision errors. Within the scope of this study, the role of the human factor in decision-making processes and the conditions under which errors occur will be examined, and the key elements influencing the formation of decision behavior will be identified. In this direction, it is planned to examine the processes in a business where technology-supported decision systems are actively used, using the case study method. With the analysis to be conducted, it is aimed to demonstrate with concrete data the tendency of individuals to rely on intuitive judgments rather than system data, especially under time pressure, and the effect of this situation on error rates. The evaluations obtained are expected to contribute to a clearer understanding of decision-making processes.

Keywords: Decision Making, Human Factor, Cognitive Errors, Technology and Decision, Behavioral Decision Making

1. GİRİŞ

Karar verme, bireylerin ve örgütlerin karşılaştıkları durumlar karşısında mevcut seçenekler arasından seçim yapmalarını sağlayan temel bir bilişsel süreçtir. Bu süreç; yönetim, mühendislik, ekonomi ve günlük yaşam gibi birçok alanda kritik bir rol oynamaktadır. Klasik karar verme yaklaşımları, bireylerin tüm alternatifleri eksiksiz değerlendirebildiği, yeterli bilgiye sahip olduğu ve rasyonel davrandığı varsayımına dayanmaktadır. Ancak gerçek karar ortamları çoğu zaman bu varsayımlardan sapmakta; kararlar sınırlı bilgi, belirsizlik ve zaman baskısı altında alınmaktadır. Bu koşullar, karar süreçlerini sistematik biçimde hataya açık hale getirmektedir.

Özellikle yüksek sorumluluk içeren, risk barındıran ve geri dönüşü olmayan sonuçlar doğuran karar anlarında hata olasılığının belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Bu durum, karar verme sürecinin yalnızca analitik değil, aynı zamanda bilişsel ve davranışsal boyutlarıyla ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Davranışsal karar verme yaklaşımı, bireylerin karar alırken

rasyonel modellerden sapabildiğini ve sezgisel yargılara yöneldiğini ortaya koymaktadır (Kahneman, 2011; Simon, 1955).

Teknolojik gelişmelerle birlikte karar destek sistemleri, veri analitiği araçları ve otomatik öneri mekanizmaları karar süreçlerinin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu sistemler, karar vericilere hızlı ve kapsamlı bilgi sunma kapasitesine sahip olsa da karar sürecinden insan faktörünü tamamen dışlamak mümkün değildir. Karar vericilerin sistem çıktıları ile kendi yargıları arasında tercih yapmak zorunda kaldıkları durumlar ortaya çıkmakta; güven algısı, kontrol duygusu ve sorumluluk paylaşımı karar davranışlarını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma, insan faktörünün teknoloji destekli karar verme süreçlerindeki rolünü ve karar hatalarının hangi koşullar altında ortaya çıktığını incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle zaman baskısı altında bireylerin sistem verileri yerine sezgisel yargılara yönelme eğilimi ele alınmakta; karar verme sürecinin daha gerçekçi ve bütüncül biçimde anlaşılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Modern organizasyonlarda teknoloji destekli karar ortamları, karar alma süreçlerinin merkezinde yer almakta ve bu ortamlar yalnızca verilerin işlendiği teknik yapılar olarak değil, insan bilişsel kapasitesinin sınırları ile algoritmik sistemlerin işleyişi arasındaki etkileşimin yoğun biçimde yaşandığı karmaşık yapılar olarak değerlendirilmektedir. Bu bağlamda incelenen karar ortamı, karar vericilerin yüksek hızda üretilen veri temelli sistem çıktıları ile hızlı ve sezgisel bilişsel süreçler arasında denge kurmak zorunda kaldıkları, yüksek yoğunluklu bir karar ekosistemi sunmaktadır. Araştırma kapsamında ele alınan işletme yapısı, yüksek işlem hacmi, düşük hata toleransı ve sürekli zaman baskısı altında yürütülen karar süreçleri ile tanımlanmaktadır. Bu tür ortamlarda karar verme, yalnızca teknik yeterliliğe dayalı bir faaliyet olmaktan çıkmakta; bireylerin karar yorgunluğu ve bilişsel tükenmişlik koşulları altında rasyonel karar üretme kapasitelerini sürdürme becerisi ön plana çıkmaktadır.

Karar destek sistemleri, süreçlere ilişkin anlık veri sağlayarak optimize edilmiş alternatifler üretmesine rağmen, uygulama düzeyinde gözlemlenen karar davranışları çoğu zaman teorik modellerden sapma göstermektedir. İnsan beyninin günlük olarak çok sayıda karar üretmek zorunda olması, bilişsel kaynakların korunması amacıyla sezgisel ve kestirme karar mekanizmalarının kullanılmasına yol açmaktadır. Yapılan gözlemler, karar vericilerin önemli bir bölümünün, özellikle yoğun zaman baskısı ve stres altında, sistem tarafından sunulan veri temelli önerilere yeterli düzeyde güven duymadığını ve bu nedenle söz konusu çıktıları reddederek sezgisel değerlendirmelere yöneldiğini ortaya koymaktadır. Bu eğilim, büyük ölçekli işletmelerde verimsiz karar alma süreçlerinin ciddi finansal kayıplara neden olduğu bulgusuyla birlikte değerlendirildiğinde, insan faktörünün gelişmiş teknolojik sistemlerin etkinliğini belirleyici ölçüde etkileyebildiğini göstermektedir.

İncelenen karar ortamında bireylerin sorumluluk algısı, deneyime dayalı özgüven düzeyleri ve teknolojiye yönelik güven algısı, karar davranışını şekillendiren temel unsurlar arasında yer almaktadır. Özellikle zaman kısıtının yoğun olduğu koşullarda, sistem tarafından sunulan

verilerin yeterli düzeyde analiz edilmeden göz ardı edilmesi, hata oluşumunun temel nedeninin çoğu durumda sistemsal yetersizliklerden ziyade insan bilişsel süreçlerinden kaynaklandığını göstermektedir. Bireylerin kendi yargılarına aşırı güven duyması, yüksek doğruluk oranına sahip sistem önerilerinin dahi reddedilmesine ve hatalı kararların sürdürülmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle çalışma alanı, hatanın kaynağını yalnızca teknolojik sistemlere atfeden yaklaşımlardan ayrılarak, insan faktörü ile teknoloji arasındaki etkileşimi bilişsel önyargılar ve psikolojik sınırlılıklar çerçevesinde bütüncül ve eleştirel bir perspektifle ele almaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada analiz birimi birey sayısı değil, teknoloji destekli karar ortamlarında verilen tekil karar durumlarıdır. İncelenen 72 karar senaryosu, aynı işletme bünyesinde görev yapan sınırlı sayıda profesyonel karar vericinin farklı zamanlarda, benzer sorumluluk düzeyleri altında verdikleri kararları temsil etmektedir. Her bir senaryo, sistem tarafından sunulan öneri ile nihai karar arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla bağımsız bir analiz birimi olarak ele alınmıştır. İnsan bilişsel süreçleri ile algoritmik karar destek sistemleri arasındaki etkileşimi incelemek amacıyla kurgulanan bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımlarından biri olan vaka analizi deseni çerçevesinde yapılandırılmıştır. Araştırma, yalnızca sonuç değişkenlerine odaklanan nicel bir değerlendirme yerine, karar vericilerin karar anındaki bilişsel değerlendirme süreçlerini ve bu süreçlerin sonuçlara nasıl yansıdığını anlamayı hedefleyen geriye dönük analitik bir inceleme niteliği taşımaktadır. Çalışmanın materyal tabanı, yapay zekâ destekli karar destek sistemlerinin aktif olarak kullanıldığı, yüksek işlem hacmine sahip bir işletmenin operasyonel karar kayıtları, sistem logları ve sonuç raporlarından oluşmaktadır. İncelenen bu kayıtlar, karar vericilerin zaman baskısı, belirsizlik ve sorumluluk düzeyi altında sergiledikleri karar davranışlarının sistematik olarak izlenmesine olanak sağlayan veri setleri olarak ele alınmıştır.

Analiz süreci, aynı organizasyonel yapı içerisinde görev yapan sınırlı sayıda karar vericinin farklı zaman dilimlerinde verdikleri kararlar arasından seçilen senaryolar üzerine odaklanacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu kapsamda, karar yorgunluğunun etkisinin daha belirgin olduğu zaman aralıkları dikkate alınarak, düşük, orta ve yüksek zaman baskısı düzeylerini temsil eden toplam 72 karar senaryosu analiz edilmiştir. İncelenen karar senaryoları, benzer sorumluluk düzeylerine sahip ve aynı karar destek sistemini kullanan karar vericilere ait olup, çevresel değişkenlerin mümkün olduğunca sabit tutulması amaçlanmıştır. Her bir senaryo, sistem tarafından üretilen öneri ile karar vericinin verdiği nihai karar arasındaki uyum veya sapmayı değerlendirmek amacıyla ayrı bir analiz birimi olarak ele alınmıştır.

Veri toplama ve analiz sürecinde, karar vericilerin sistem önerilerini kabul ettikleri veya reddettikleri durumlar, akademik literatürde tanımlanan güven ve doğruluk uyumsuzluğu çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Bu doğrultuda, doğru sistem önerisinin reddedildiği durumlar ile hatalı sistem önerisinin kabul edildiği senaryolar ayrıştırılmıştır. Karar süreleri ve sistem logları kullanılarak, karar vericilerin analitik değerlendirme süreçleri ile sezgisel ve hızlı karar tepkileri arasındaki farklar belirlenmiştir. Hatalı sonuçlanan senaryolarda, hatanın yalnızca görünen sonucu değil, bu sonuca yol açan bilişsel ve sistemsal nedenler incelenmiş; bu amaçla ardışık neden-sonuç sorgulamasına dayalı analiz tekniği uygulanmıştır. Elde edilen veriler

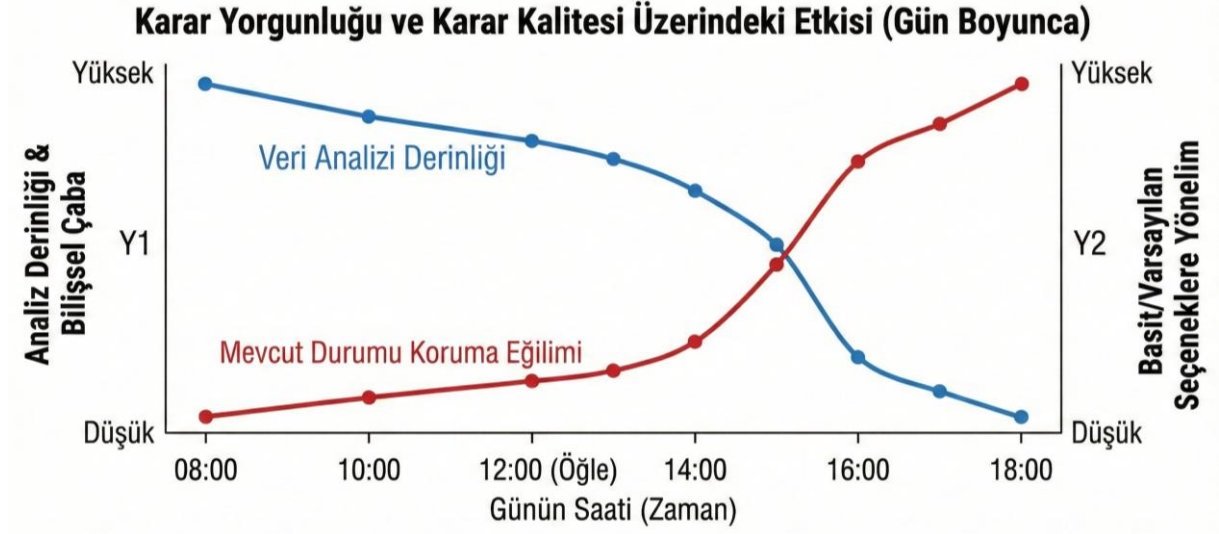
betimsel analiz yöntemiyle değerlendirilmiş, insan ve teknoloji etkileşiminde ortaya çıkan karar davranışları sistem önerisine tam uyum, sezgisel direnç ve karma doğrulama yaklaşımları altında kategorize edilmiştir. Bu metodolojik yaklaşım, karar hatalarını yalnızca bireysel yeterlilik eksikliği olarak ele alan yaklaşımlardan farklı olarak, hatayı insan bilişsel sınırları ile teknolojik sistem tasarımı arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

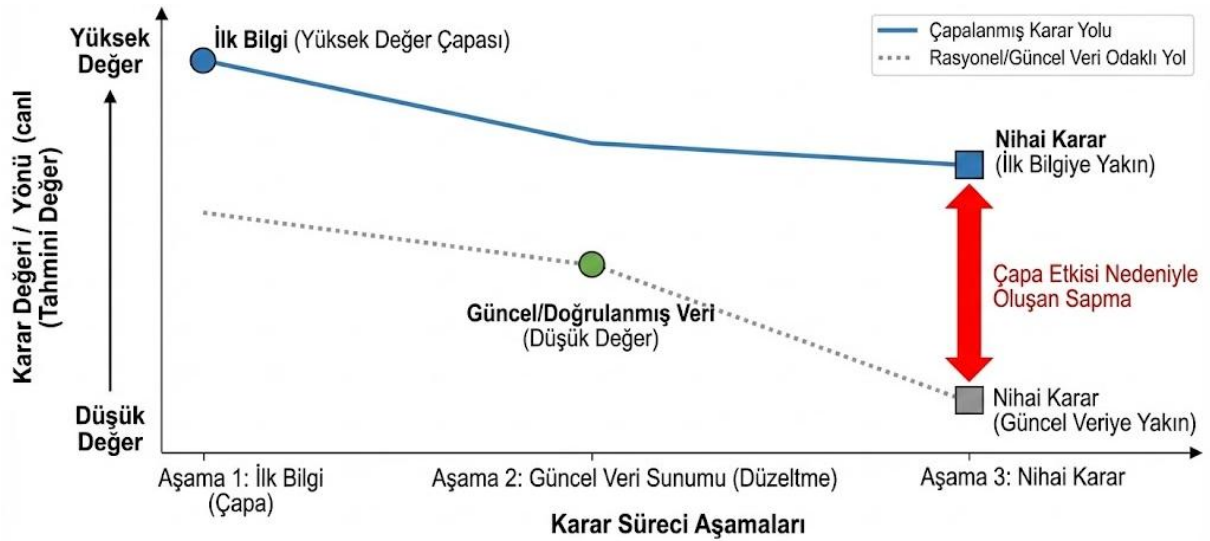
Bulgular, bireylerin kişisel özelliklerinden ziyade, karar verme anındaki bilişsel koşullara odaklanacak şekilde değerlendirilmiştir. Bu çalışmada yer alan 72 karar senaryosu, 72 farklı bireye ait tekil kararları değil, sınırlı sayıda karar vericinin farklı zamanlarda ve farklı koşullar altında verdikleri toplam 72 ayrı karar durumunu ifade etmektedir. Teknoloji destekli karar ortamlarında nihai kararın insan bilişsel süreçleri tarafından verildiğini ve bu süreçlerin çevresel koşullara duyarlı olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma bulguları, sistem tarafından sunulan nesnel ve yapılandırılmış veriler ile bireylerin bilişsel değerlendirmeleri arasındaki uyumsuzluğun, karar sonuçları üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle yüksek baskı altında yürütülen karar süreçlerinde, profesyonel karar vericilerin standart koşullarda sergiledikleri rasyonel davranış örüntülerinden anlamlı biçimde sapabildikleri gözlemlenmiştir.

Araştırma kapsamında ele alınan 72 karar senaryosu, tek bir işletme bünyesinde faaliyet gösteren karar vericilerin gerçek operasyonel süreçlerinde karşılaştıkları durumlar arasından seçilmiştir. Senaryolar, yüksek zaman baskısı, hata maliyetinin yüksekliği ve yoğun veri akışı gibi ortak özellikler taşıyan karar noktalarını temsil edecek şekilde belirlenmiştir. İncelenen kararlar, aynı organizasyonel yapı içerisinde görev yapan ve benzer sorumluluk düzeylerine sahip sınırlı sayıda karar vericiye aittir. Veri toplama süreci, kurum içi izinler doğrultusunda ve katılımcıların kimlik bilgileri anonimleştirilerek yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan tüm veriler, araştırma etiği ilkelerine uygun şekilde elde edilmiş, bireysel performans değerlendirmesi veya kurumsal karşılaştırma amacı taşımayacak biçimde analiz edilmiştir. Bu metodolojik çerçeve, elde edilen bulguların belirli bir bağlamla sınırlı olduğunu kabul etmekle birlikte, teknoloji destekli karar ortamlarında insan faktörünün rolünü açıklamaya yönelik güvenilir bir analitik zemin sunmaktadır. İşte bu çalışmanın kalbini oluşturan, insan zihninin karar verme anındaki şaşırtıcı davranış kalıpları:

• ***Beyin Pilinin Tükenmesi (Karar Yorgunluğu):*** İncelenen 72 karar senaryosunun 31'inde (%43,1), karar vericilerin günün ilerleyen saatlerinde sistem tarafından sunulan verileri daha yüzeysel biçimde değerlendirdiği tespit edilmiştir. Bu senaryolarda ortalama karar süresinin %26 oranında kısaldığı ve hata oranının, günün erken saatlerinde alınan kararlara kıyasla yaklaşık 1,8 kat arttığı gözlemlenmiştir.

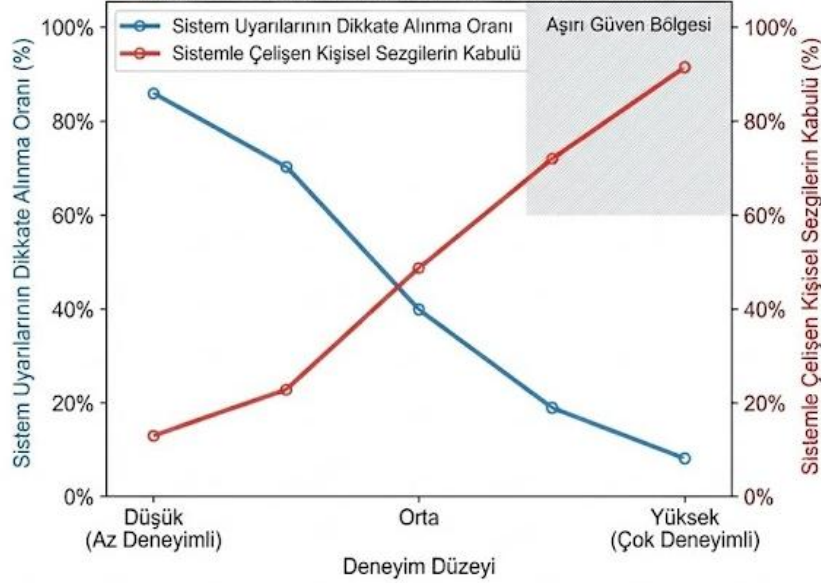


• **İlk Duyduğuna İnanma Takıntısı (Çapalama Etkisi):** Çapalama etkisi, toplam 72 senaryonun 29’unda (%40,3) belirgin biçimde gözlemlenmiştir. Bu senaryolarda, karar sürecinin başlangıcında sunulan ilk bilginin, daha sonra sistem tarafından sağlanan güncel verilerle çelişmesine rağmen karar üzerinde baskın etkisini sürdürdüğü tespit edilmiştir (Tversky & Kahneman, 1974). Çapalama etkisinin görüldüğü senaryolarda hata oranı %47 iken, bu etkinin gözlemlenmediği senaryolarda hata oranı %21 düzeyinde kalmıştır.



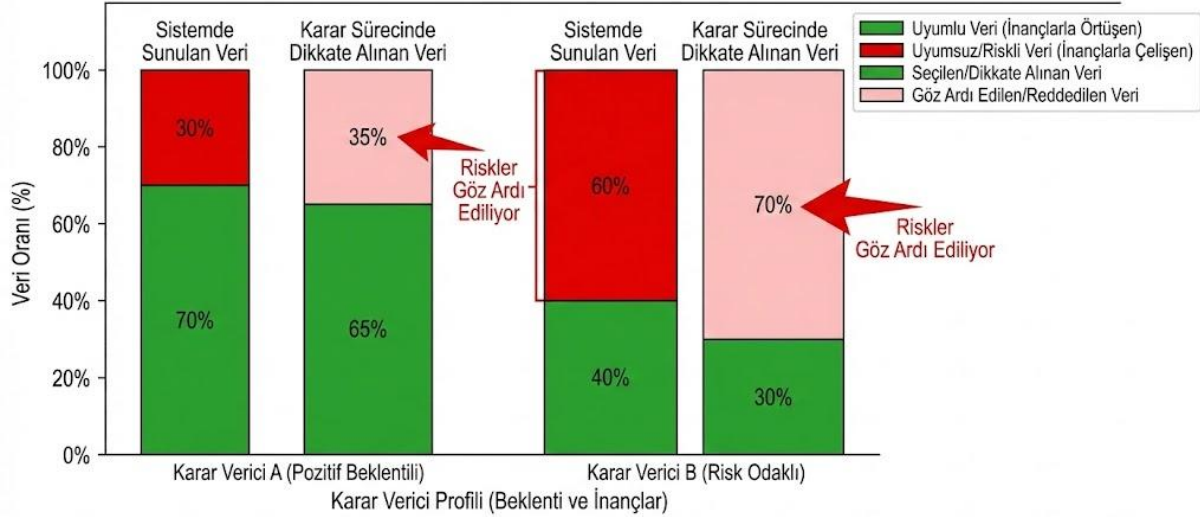
• **Ben Zaten Biliyorum Tuzağı (Aşırı Güven):** Aşırı güven eğilimi, incelenen senaryoların 22’sinde (%30,6) ortaya çıkmıştır. Bu senaryolarda karar vericilerin, sistem tarafından sunulan yüksek doğruluk oranına sahip önerileri reddettiği ve nihai kararların %68’inin hatalı sonuçlandığı belirlenmiştir. Buna karşılık, sistem önerilerinin kabul edildiği senaryolarda hata oranı %24 olarak ölçülmüştür.

Aşırı Güven Tuzağı: Deneyim Düzeyinin Sistem Uyarıları ve Kişisel Sezgilerin Rolü Üzerindeki Etkisi

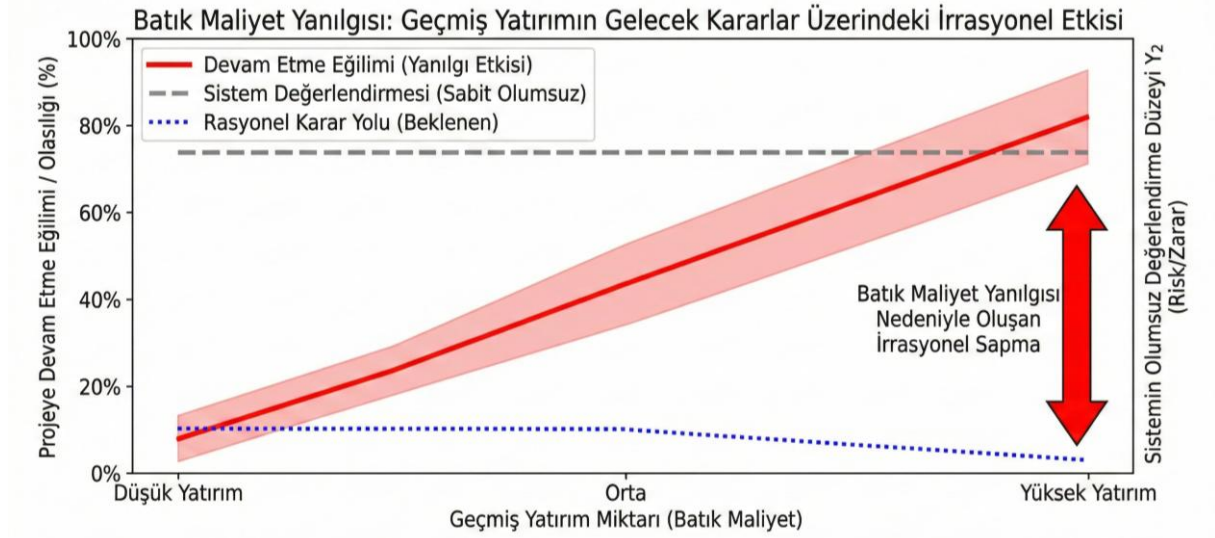


• **İşine Geleni Görme (Onaylama Yanlılığı):** Onaylama yanlılığı, özellikle çok sayıda veri girdisinin aynı anda sunulduğu 26 senaryoda (%36,1) gözlemlenmiştir. Bu senaryolarda, karar vericilerin mevcut beklentileriyle uyumlu verileri seçici biçimde kullandığı ve çelişkili göstergeleri dışladığı tespit edilmiştir (Nickerson, 1998). Onaylama yanlılığının görüldüğü senaryolarda risk gerçekleşme oranı %29 iken, tüm verilerin dengeli değerlendirildiği senaryolarda bu oran %11 olarak belirlenmiştir.

Onaylama Yanlılığı: Uyumlu Verilerin Seçici Algılanması ve Riskli Verilerin Göz Ardı Edilmesi



• **Buraya Kadar Geldik, Dönemeyiz Yanılgısı (Batık Maliyet):** Batık maliyet etkisi, incelenen senaryoların 15'inde (%20,8) tespit edilmiştir. Bu senaryolarda, sistem tarafından olumsuz olarak değerlendirilen seçeneklerin, geçmişte yapılan kaynak yatırımları gerekçe gösterilerek sürdürülmeye devam edildiği gözlemlenmiştir (Arkes & Blumer, 1985). Batık maliyet etkisinin bulunduğu senaryolarda hata oranının %53 olduğu belirlenmiştir.



• **Grup İçinde Sessizleşme (Grup Düşüncesi):** Grup temelli karar senaryolarının 18'inde (%25), grup düşüncesi belirtileri gözlemlenmiştir. Bu senaryolarda, baskın görüş dile getirildikten sonra alternatif önerilerin ifade edilme sıklığının belirgin biçimde azaldığı ve sistem verileri farklı bir yönü işaret etse dahi bireysel itirazların sınırlı kaldığı tespit edilmiştir (Janis, 1982).

• **Karmaşıklık Reddetme:** Sistemin sunduğu çözüm ve görsel çıktıların algısal olarak karmaşık bulunduğu 21 senaryoda (%29,2), bu verilerin güvenilirliğinin sorgulandığı ve karar sürecinde daha az kullanıldığı belirlenmiştir. Anlaşılabilirliği yüksek biçimde sunulan sistem çıktılarında ise kabul oranının %67'ye kadar çıktığı gözlemlenmiştir.

• **Karar Süresinin Kısaldırılması (Hız Yanılgısı):** Zaman baskısının yüksek olduğu karar senaryolarında, karar süresinin ortalama %32 oranında kısaldığı ve bu kısalmanın sistem tarafından sunulan alternatiflerin tamamının değerlendirilmeden karar verilmesiyle sonuçlandığı gözlemlenmiştir. Karar süresi kısaldıkça hata oranının anlamlı biçimde arttığı tespit edilmiştir.

• **Yanlış Zamanda Doğru Bilgi:** 11 senaryoda (%15,3), sistem tarafından sunulan bilginin doğruluğunun yüksek olmasına rağmen zamanlama nedeniyle karar sürecine entegre edilemediği belirlenmiştir. Bu senaryolarda bilginin geç sunulmasının, kullanılmamasına eşdeğer etki yarattığı gözlemlenmiştir.

• **Son Olayların Etkisinde Kalma (Mevcudiyet Yanılgısı):** Mevcudiyet yanılgısı, 24 senaryoda (%33,3) tespit edilmiştir. Yakın geçmişte yaşanan dikkat çekici olayların, istatistiksel

sıklığından bağımsız olarak risk algısını etkilediği ve bu durumun sistem tarafından sunulan olasılıksal değerlendirmelerin karar sürecinde yeterince ağırlık kazanmasını engellediği belirlenmiştir.

- **Tek Bir Hata ile Sistemi Silme (Algoritma Tiksintisi):** Algoritma tiksintisi, sistemin geçmişte sınırlı sayıda hata yaptığı 13 senaryoda (%18,1) belirgin hale gelmiştir. Bu senaryolarda sistem önerilerinin reddedilme oranı %57 olarak ölçülmüş; benzer koşullarda geçmiş olumsuz deneyimin bulunmadığı senaryolarda bu oran %23 düzeyinde kalmıştır (Dietvorst, Simmons & Massey, 2015).

- **Geri Bildirim Eksikliği:** Bazı karar senaryolarında, alınan kararların sonuçlarına ilişkin sistematik geri bildirim mekanizmalarının bulunmamasının, karar vericilerin kendi hatalarını fark etme ve öğrenme süreçlerini sınırladığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, aynı tür hataların tekrar edilmesine katkı sağladığı belirlenmiştir.

- **Varsayılan Seçeneğe Yönelme (Varsayılan Etki):** Sistem tarafından önceden seçili olarak sunulan alternatiflerin bulunduğu 17 senaryoda (%23,6), karar vericilerin bu varsayılan seçeneği ek analiz yapmadan kabul etme eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir. Varsayılan seçeneğin kabul edildiği senaryolarda hata oranı %41 iken, aktif olarak değiştirilen seçeneklerde bu oran %19 düzeyinde kalmıştır.

- **Aşırı Bilgi Etkisi (Bilgi Felci):** İncelenen 72 karar senaryosunun 17'sinde (%23,6), sistem tarafından sunulan bilgi miktarının artmasının karar kalitesini yükseltmek yerine düşürdüğü tespit edilmiştir. Bu senaryolarda, veri sayısı arttıkça karar süresinin uzadığı ancak hata oranının %41 seviyesine çıktığı gözlemlenmiştir. Daha az ancak önceliklendirilmiş bilginin sunulduğu karşılaştırmalı senaryolarda hata oranı %19 olarak ölçülmüştür.

- **Semptomlara Odaklanıp Kök Nedeni Kaçırma:** İncelenen senaryoların 19'unda (%26,4), karar vericilerin sorunların temel nedenleri yerine yüzeysel belirtilere odaklandığı tespit edilmiştir. Bu yaklaşımın benzer problemlerin tekrar etmesine yol açtığı ve düzeltici kararların etkinliğini sınırladığı gözlemlenmiştir.

- **Başarıdan Sonra Körleşme:** Önceki benzer kararlarında başarı elde etmiş karar vericilerin yer aldığı 10 senaryoda (%13,9), sistem uyarılarını görmezden gelme eğiliminin belirgin biçimde arttığı tespit edilmiştir. Bu senaryolarda hata oranının önceki başarısız senaryolara kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu, karar yorgunluğunun bilişsel kaynakların tükenmesiyle ilişkili olduğu yönündeki önceki çalışmalarla örtüşmektedir (Baumeister et al., 1998).

Özetle bu bulgular, bir işletmede ortaya çıkan hataların yalnızca yüzeysel biçimde “dikkatsizlik” veya “bireysel yetersizlik” ile açıklanamayacağını; aksine, karar vericilerin yoğun zaman baskısı, stres ve sorumluluk altında devreye giren bilişsel savunma mekanizmalarının sistematik bir sonucu olduğunu ortaya koymaktadır. Literatürde sıklıkla teorik düzeyde ele alınan karar yorgunluğu, aşırı güven, onaylama yanlılığı ve algoritma tiksintisi gibi bilişsel eğilimlerin, bu çalışmada gerçek bir teknoloji destekli karar ortamında somut karar kayıtları üzerinden gözlemlenmiş olması, insan faktörünün karar hatalarındaki

belirleyici rolünü uygulamalı olarak görünür kılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, karar hatalarını yalnızca insanın rasyonel olmaması üzerinden değil, insan zihninin biyolojik ve psikolojik sınırları ile yüksek doğruluklu teknolojik sistemler arasındaki uyumsuzluk üzerinden açıklayarak mevcut literatüre bütüncül bir katkı sunmaktadır. Elde edilen bulgular, teknoloji ne kadar gelişmiş ve matematiksel olarak kusursuz olursa olsun, onu kullanan insanın psikolojik bariyerleri, güven algısı ve bilişsel yükü dikkate alınmadan tasarlanan karar süreçlerinde doğru ve sürdürülebilir karar vermenin giderek zorlaştığını göstermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, teknoloji destekli karar verme süreçlerinde hataların yalnızca teknik sistem yetersizliklerinden veya bireysel dikkatsizlikten kaynaklanmadığını; aksine, insan bilişsel süreçlerinin zaman baskısı, stres ve yüksek sorumluluk koşulları altında maruz kaldığı psikolojik ve zihinsel sınırlılıkların karar sonuçları üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. İncelenen karar senaryoları, gelişmiş karar destek sistemlerinin yüksek doğruluk oranlarına sahip olmasına rağmen, nihai kararın insan tarafından verilmesi nedeniyle bilişsel yanlışlıkların ve sezgisel tepkilerin süreci önemli ölçüde şekillendirdiğini göstermektedir.

Araştırma bulguları, özellikle karar yorgunluğu, aşırı güven, onaylama yanlılığı, algoritma tiksintisi ve mevcudiyet yanlılığı gibi bilişsel eğilimlerin, teknoloji destekli karar ortamlarında sistem önerilerinin reddedilmesine veya yanlış yorumlanmasına yol açabildiğini ortaya koymuştur. Bu durum, karar hatalarının kaynağının çoğu zaman teknolojik sistemlerin doğruluğundan ziyade, insan zihninin bilişsel yük altında verdiği tepkilerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, karar verme performansının artırılmasının yalnızca daha gelişmiş algoritmalar geliştirmekle değil, bu algoritmaların insan bilişsel yapısıyla uyumlu biçimde kullanılmasını sağlayacak karar mimarilerinin tasarlanmasıyla mümkün olabileceği anlaşılmaktadır. Çalışmanın önemli sonuçlarından biri, deneyim ve uzmanlık düzeyinin her koşulda daha doğru kararlarla sonuçlanmadığını göstermesidir. Bulgular, deneyimli karar vericilerin bazı durumlarda kendi sezgilerine aşırı güvenerek sistem tarafından sunulan veri temelli uyarıları göz ardı edebildiğini ve bu durumun hatalı kararlarla sonuçlanabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, teknoloji destekli karar sistemlerinin yalnızca bilgi sunan araçlar olarak değil, kullanıcıların güven algısını ve bilişsel yükünü yöneten sosyo-teknik yapılar olarak ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Bu çalışma, tek bir işletme bağlamında ve sınırlı sayıda karar senaryosu üzerinden yürütülmüş olması nedeniyle genellenebilirlik açısından belirli sınırlılıklar taşımaktadır. Elde edilen bulgular, tüm sektörler veya tüm karar ortamları için doğrudan genellenebilir nitelikte olmamakla birlikte, yüksek zaman baskısı ve düşük hata toleransına sahip teknoloji destekli karar ortamlarında insan faktörünün rolünü açıklamak açısından güçlü bir analitik çerçeve sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, ileride yapılacak nicel ve çok sektörlü araştırmalar için kavramsal ve metodolojik bir temel oluşturmaktadır.

Elde edilen bulgular doğrultusunda uygulamaya yönelik bazı temel öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Karar destek sistemleri, yalnızca doğruluk oranı yüksek çıktılar üretmek yerine, kullanıcı güvenini artıracak şeffaflık ve anlamlılık özellikleriyle tasarlanmalıdır.
- Yoğun karar yükü altında çalışan bireyler için karar yorgunluğunu azaltmaya yönelik görev rotasyonu, mola yapıları ve karar sayısını dengeleyen organizasyonel düzenlemeler hayata geçirilmelidir.
- Karar vericilere yönelik eğitim programları, teknik sistem kullanımının ötesine geçerek bilişsel yanlılıklar, aşırı güven ve sezgisel tuzaklar konusunda farkındalık kazandıracak içerikler içermelidir.
- Sistem arayüzleri, karmaşık veri görselleştirmelerinden kaçınarak algısal olarak sade, önceliklendirilmiş ve kullanıcı dostu biçimde yapılandırılmalıdır.
- İnsan ve teknoloji arasındaki etkileşimi güçlendirmek amacıyla, nihai karar öncesinde sistem ile insan değerlendirmesini birlikte doğrulayan hibrit karar mekanizmaları teşvik edilmelidir.

Sonuç olarak bu çalışma, başarılı bir karar verme yapısının yalnızca teknolojik mükemmeliyetle değil, insan zihninin bilişsel ve psikolojik sınırlarını dikkate alan bütüncül bir yaklaşım ile mümkün olduğunu göstermektedir. Gelecekte yapılacak araştırmaların, veriyi daha hızlı ve doğru işleyen sistemler geliştirmekten ziyade, bu veriyi yorumlayan insan zihninin karar verme dinamiklerini daha derinlemesine incelemeye odaklanması, teknoloji destekli karar süreçlerinin etkinliğini artırmada kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Arkes, H. R., & Blumer, C. (1985). The psychology of sunk cost. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 35(1), 124-140.
- Baumeister, R. F., Bratslavsky, E., Muraven, M., & Tice, D. M. (1998). Ego depletion: Is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1252–1265.
- Dietvorst, B. J., Simmons, J. P., & Massey, C. (2015). Algorithm aversion: People erroneously avoid algorithms after seeing them err. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(1), 114–126.
- Janis, I. L. (1982). *Groupthink: Psychological studies of policy decisions and fiascoes*. Houghton Mifflin.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Nickerson, R. S. (1998). Confirmation bias: A ubiquitous phenomenon in many guises. *Review of General Psychology*, 2(2), 175–220.
- Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, 69(1), 99-118.
- Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131.

FONKSİYONEL GIDA TASARIMINDA GLUTENSİZ MAKARNA: KOKUSUZ LİYOFİLİZE BALIK KATKISININ YAPISAL DAYANIKLILIK VE BİYİYARARLANIM ÜZERİNE ETKİLERİ

Prof.Dr. Özlem EMİR ÇOBAN^{a*}

^aFırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ 23119, Türkiye

Doç.Dr.Mücahit EROĞLU^a

^aFırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ 23119, Türkiye

Prof.Dr.Hülya GÜL^b

^bSüleyman Demirel Üniversitesi, Gıda Mühendisliği, 32000, Isparta, Türkiye

Dr.Tuba OKUTAN^c

^cFırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Elazığ, 23119 Türkiye

Doç. Dr. Feray ÇAĞIRAN YILMAZ^d

^dDicle Üniversitesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Diyarbakır, Türkiye

Dr.Öğr. Üyesi.İlhan Fırat KILINÇER^e

^eFırat Üniversitesi, Adli Bilişim Mühendisliği, Elazığ, 23119 Türkiye

*Sorumlu yazar: ocoban@firat.edu.tr Orcid: [0000-0003-1388-0740](https://orcid.org/0000-0003-1388-0740) , GSM: 05377706632

ÖZET

Glütensiz beslenmenin giderek artan önemi, yalnızca çölyak hastaları ve gluten intoleransı yaşayan bireyler için değil, aynı zamanda sağlıklı yaşam arayışındaki geniş tüketici kitlesi için de yeni ürün geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışma, balık tüketiminden hoşlanmayan bireyler için kokusuz, besin değeri yüksek ve fonksiyonel özellikleri geliştirilmiş alternatif bir glutensiz makarna formülasyonu tasarlamayı amaçlamıştır. Bu bağlamda, kokusuz liyofilize balık katkısı levrek balığı kullanılarak elde edilmiştir ve glutensiz makarnaya farklı oranlarda (%0,5,10) ilave edilerek yapısal dayanıklılık (ağırlık artışı, hacim artışı, şişme indeksi pişme kaybı, pişirme süresi) ve biyoyararlanım (glisemik yanıt (pGI) ve in vitro sindirilebilirlik) üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Tekno-fonksiyonel analizler sonucunda, levrek katkısı ile ağırlık ve hacim artışı değerlerinde azalma gözlenmiş; şişme indeksi hafif düşmüş, pişirme süresi ise uzamıştır. Besinsel açıdan en dikkat çekici bulgu glisemik yanıt değerlerinde elde edilmiştir. Kokusuz liyofilize balık tozu konsantrasyonu arttıkça pGI değerlerinde belirgin bir düşüş kaydedilmiştir ($p<0,05$). In vitro protein sindirilebilirliği ise kontrol örneğine kıyasla kokusuz liyofilize balık katkı düzeyine bağlı olarak artmıştır ($p<0,05$). Bu sonuç, ürünün biyoyararlanım açısından kabul edilebilir olduğunu ve fonksiyonel gıda potansiyelini koruduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Glutensiz makarna, Kokusuz levrek eti, Fonksiyonel gıda tasarımı, Liyofilizasyon

*Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK-223O495) tarafından desteklenmiştir.

**GLUTEN-FREE PASTA IN FUNCTIONAL FOOD DESIGN: EFFECTS OF
ODOURLESS LYOPHILISED FISH ADDITIVE ON STRUCTURAL STRENGTH
AND BIOAVAILABILITY**

ABSTRACT

The increasing importance of gluten-free diets necessitates the development of new products not only for individuals with celiac disease and gluten intolerance, but also for a wider consumer base seeking healthy living. This study aimed to design an alternative gluten-free pasta formulation that is odorless, highly nutritious, and has improved functional properties for individuals who dislike consuming fish. In this context, an odorless lyophilized fish additive was obtained using sea bass, and its effects on structural stability (weight gain, volume gain, swelling index, cooking loss, cooking time) and bioavailability (glycemic response (pGI) and in vitro digestibility) were investigated by adding it to gluten-free pasta at different ratios (0.5%, 10%). As a result of techno-functional analyses, a decrease in weight and volume gain values was observed with the addition of sea bass; the swelling index decreased slightly, and the cooking time increased. The most noteworthy nutritional finding was obtained in the glycemic response values. As the concentration of odorless lyophilized fish powder increased, a significant decrease in pGI values was recorded ($p<0.05$). In vitro protein digestibility increased depending on the level of odorless lyophilized fish additive compared to the control sample ($p<0.05$). This result shows that the product is acceptable in terms of bioavailability and retains its functional food potential.

Keywords: Gluten-free pasta, Odorless sea bass, Functional food design, Lyophilization

* This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK-223O495).

DENİZLİ İLİ HONAZ İLÇESİ KIRAZ BAHÇELERİNİN BESLENME DURUMUNUN TOPRAK VE BİTKİ ANALİZLERİYLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Zir.Müh. Raziye AYDIN

Ege Üniversitesi, raziyea563@gmail.com -0009-0000-9611-3111

Doç.Dr.Bihter ÇOLAK ESETLİLİ

Ege Üniversitesi, bihter.colak@ege.edu.tr -0000-0001-5707-2011

Günümüzde tarımsal üretim alanlarından maksimum verim almak amacıyla hatalı uygulamalar yapıldığı bilinmektedir. Tüm dünyada olduğu gibi Ülkemizin de en önemli ve büyük sorunlarından olan yanlış ve bilinçsiz gübre uygulamaları nedeni ile verimli topraklarımız her geçen gün azalmaktadır. Sürdürülebilir tarımsal üretimde toprağın üretkenliğinin devamlılığı için topraktaki besin elementi içeriğindeki değişimlerinin belirlenmesi, gübreleme uygulamalarının optimize edilmesi önemlidir. Çalışmada, Denizli İli Honaz ilçesinde Napolyon çeşidi kiraz yetiştiriciliğinde, toprak ve bitki analizlerine dayalı optimum beslenme stratejilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda yöredeki 30 farklı kiraz bahçesinden (Jackson,1967) yöntemine göre iki farklı derinlikten (0-30 cm ve 30-60 cm) toprak ve aynı bahçelerden (Kaçar ve İnal 2008)’a göre yaprak örnekleri alınarak besin elementi analizleri gerçekleştirilmiştir. Toprak örneklerinde verimlilik parametreleri belirlenirken, yaprak örneklerinde bitkinin beslenme durumunu yansıtmaları amacıyla makro ve mikro besin elementi içerikleri saptanmıştır. Toprak analiz sonuçları (Lindsay ve Norvell, 1978) sınır değerlerine göre değerlendirildiğinde; bölgedeki toprakların %47’si hafif alkali veya alkali karakterde, %43’ü yüksek kireç içeriğine sahiptir. Genel olarak kumlu-tınlı bir yapıya sahip toprakların %13’ünün organik maddesi çok düşük, %60’ının orta düzeyde bulunmuştur. Total N içerikleri %0.028 – 0.336 aralığında olup, alınabilir P içeriklerinin %80 oranında yüksek olduğu görülmüştür. Alınabilir Ca ve Mg düzeyleri genel olarak yüksek bulunurken, özellikle yüzey altı (30-60 cm) toprak derinliğinde bor (B) içeriklerinin 5.00 – 21.00 mg/kg aralığında saptanması, (Wolf, 1971)’a göre toksisite riski oluşturmaktadır. Mikro elementlerden alınabilir Fe 3.22 – 870 ppm, Zn ise 0.40 – 98.95 ppm aralığında değişmektedir. Yaprak N içerikleri %1.88 – 3.28 aralığında yeterli düzeyde bulunmuş; ancak (Jones ve ark. (1991) referans değerlerine göre meyve kalitesi ve raf ömrü üzerinde belirleyici olan potasyum (K) ve kalsiyum (Ca) oranlarının optimumun altında olduğu tespit edilmiştir. Yaprak Fe (28 – 86 ppm) ve Zn (15.04 – 36.78 ppm) içeriklerinin noksanlık sınırında seyretmesi, sürgün gelişimini ve meyve tutumunu sınırlayabilmektedir. Meyve analizleri de yaprak bulgularını destekler nitelikte olup, yetersiz Ca seviyelerinin meyve çatlaması riskini artırabileceği (Demirsoy ve ark., 2012) ve düşük K düzeyinin meyve iriliğini olumsuz etkilediği (Lester ve ark., 2010) sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda yöreye özgü, potasyum ve kalsiyum dengesini gözeterek gübreleme programlarının oluşturulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kiraz (*Prunus avium* L.), Denizli, Besin elementi, Verim, Kalite

HYPER G-MATRICES AND THE RELATIONS BETWEEN LUCAS NUMBERS

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

This paper investigates the structural relations between Hyper G–matrices and several special matrix classes such as circulant and r –circulant matrices derived from Lucas sequences. A generalized correspondence condition is introduced through the algebraic relation

$$A^{-T} = D_1 A D_2.$$

where D_1 and D_2 are nonsingular diagonal matrices ensuring determinant preservation and transformation symmetry. This property extends the conventional equivalence framework by integrating inverse–transpose and diagonal scaling operations into a unified algebraic structure.

Through analytical derivations and computational verification, determinant and eigenvalue behaviors of Lucas-based matrix systems are examined in detail. The study further connects these structures with Ducci sequences, illustrating how iterative difference operations correspond to Hyper G–matrix transformations within cyclic systems.

The presented results reveal potential applications of Hyper G–matrix pairs in applied mathematics, digital signal processing, and computational algebra, particularly in the construction of determinant-invariant transformation models and discrete dynamical systems. This theoretical framework provides a bridge between algebraic matrix theory and sequence-based transformations, suggesting new avenues for both symbolic computation and logical modeling.

Keywords: Hyper G–Matrix, Circulant Matrix, Ducci Sequence, Lucas Numbers, Matrix Transformations.

Mathematics Subject Classification (MSC 2020): 15A04, 15B36, 39A10, 11B39, 68T27.

1 Introduction

The study of structured matrices has been a central theme in applied mathematics since the late 19th century, owing to their critical role in representing discrete transformations, recurrence relations, and numerical algorithms. Circulant and r-circulant matrices, in particular, have been extensively employed in problems involving signal processing, cryptography, and the numerical solution of linear systems [1–3]. The classical construction of circulant matrices from number-theoretic sequences such as Fibonacci and Lucas numbers provides elegant closed-form expressions for determinants and eigenvalues, which in turn contribute to efficient computational implementations [7–9].

In recent decades, the theory of structured matrices has evolved to encompass higher-level equivalence relations that connect matrices through diagonal similarity, transpose, and inverse transformations. The concept of a Hyper G-matrix, introduced by Hasan Keleş in his early conference and journal works [12,13], extends the traditional G-matrix framework to capture pairwise relations involving inverse-transpose equivalence. A pair (A, B) of matrices is defined as a Hyper G-matrix pair if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

This definition generalizes the classical G-matrix relation $A = D_1 B D_2$ [12, 13] a broader algebraic setting for studying structural and spectral invariance.

Historical Background. The origins of this field trace back to foundational studies by Toeplitz, Hilbert, and Cauchy, who investigated structured matrices in the context of integral equations and harmonic analysis [3,12]. Later, Davis [2] and Horn & Johnson [1] formalized circulant and Toeplitz matrix theory within linear algebra, emphasizing their spectral decompositions via the discrete Fourier transform. During the late 20th century, the use of special number sequences—Fibonacci, Lucas, Perrin, and Tribonacci—enabled the definition of parameterized circulant and r-circulant matrices with closed-form eigenvalue and determinant expressions [7, 8].

In the 2000s, new generalizations appeared, such as block-circulant and k-circulant forms, further expanding their applicability to digital communication and image reconstruction [4,10]. The concept of G-matrices emerged from research on diagonal similarity classes and spectral invariance [6, 12, 13], which later inspired Keleş’s extension to the Hyper G-matrix

formulation. His work unified inverse-transpose and diagonal-similarity relations under a single generalized equivalence, offering novel insights into matrix symmetry, determinant preservation, and dual operator systems [13].

Analytical Motivation. The relation $A^{-T} = D_1 B D_2$ introduces a two-sided diagonal equivalence between A and B , preserving determinant magnitude and spectral multiplicity up to scaling factors. This concept naturally connects to physical and computational models where dual or conjugate systems appear—such as reversible linear transformations, self-adjoint operators, and energy-preserving mappings. From a theoretical viewpoint, the Hyper G-matrix pair serves as a bridge between similarity transformations and congruence relations, linking linear algebraic structures with operator theory and discrete symmetries [1].

The inclusion of number-theoretic sequences such as Lucas and Fibonacci numbers within Hyper G-matrix structures enhances the analytical richness of the model. These sequences define recursive coefficients that yield elegant relationships between matrix minors and recursive determinant identities. When used in circulant or r-circulant configurations, Lucas-based Hyper G-matrices maintain the recurrence property through inverse-transpose transformations, establishing a duality between numerical recurrence and matrix equivalence [5].

Applications. The study of Hyper G-matrix pairs offers wide-ranging applications across mathematics, physics, and computational sciences:

- In signal and image processing, circulant and r-circulant matrices are core components in discrete Fourier and cosine transforms, where Hyper G-relations can preserve phase and magnitude symmetries [3,4].
- In quantum information theory, inverse-transpose relations correspond to Hermitian conjugations and reversible operators, providing a matrix-theoretic model for quantum gates and density operator dualities [5].
- In computational algebra and numerical linear analysis, these relations enable efficient computation of matrix powers, determinants, and characteristic polynomials via recursive formulations [6,9].
- In dynamical systems, the integration with Ducci sequences reveals iterative difference patterns and cyclical invariance in discrete evolution models [5].

Keleş's contributions, particularly his 2025 WSEAS *EQUATIONS* publication, established the first formal definition and analytical treatment of Hyper G-matrices, emphasizing their algebraic transitivity and determinant-preserving properties [12]. Subsequent work in conference proceedings further demonstrated their applications to structured systems, circulant symmetries, and hybrid matrix models [7]. These advancements suggest that Hyper G-matrices may become a key theoretical tool for unifying diverse areas of linear algebra, number theory, and applied computation.

The paper is organized as follows. In Section 1, we provide the introduction and review the theoretical foundations of G-matrix theory and diagonal similarity transformations. Section 2 presents the formal definition of Hyper G-matrix pairs and examines their algebraic properties, including transitivity. Section 3 illustrates these concepts through numerical examples based on Lucas sequences and 4×4 matrix representations, analyzing determinant and eigenvalue preservation. Section 4 discusses further theoretical insights and explores connections with related matrix structures. Finally, Section 5 concludes the study, summarizing the results, highlighting the relationship between Hyper G-matrices and Lucas sequences, and outlining potential extensions and applications.

2 Theoretical Background

The theory of structured matrices provides a unifying framework for analyzing algebraic symmetries, spectral properties, and computational efficiency in linear systems. Classical equivalence relations—such as similarity, congruence, and diagonal similarity—have long been employed to classify matrices according to invariance of determinant, rank, and eigenstructure [1,2,5,7]. Within this framework, a rich variety of matrix families, including circulant, Toeplitz, and G-matrices, have been investigated for their elegant spectral decompositions and their applicability in physics, engineering, and computer science. The Hyper G-matrix concept extends these classical relations by integrating inverse-transpose dualities and nonsingular diagonal scaling into a single algebraic form [12,13].

In classical matrix theory, two matrices $A, B \in M_n(\mathbb{R})^{n \times n}$ are said to be similar if there exists an invertible matrix P such that $A = P^{-1}BP$. This relation implies that A and B share identical eigenvalues and characteristic polynomials [1]. When P is restricted to a

diagonal matrix, the equivalence becomes a diagonal similarity, a weaker but computation- ally efficient form that preserves the proportional structure of eigenvectors while allowing scaled eigenvalues [13]. Such diagonal relations serve as the foundation for the definition of G-matrices, introduced by Hall and collaborators [1], which satisfy $A = D_1 B D_2$ for nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 . These relations appear naturally in numerical linear algebra, preconditioning methods, and matrix scaling algorithms [4,6].

The Hyper G-matrix extends the G-matrix framework by introducing an inverse-transpose equivalence. Hasan Keleş defined a pair of matrices (A, B) as a Hyper G-matrix pair if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Equivalently, one may write $B = D_1^{-1} A^{-T} D_2^{-1}$, emphasizing that the inverse-transpose of one matrix is diagonally equivalent to the other. This structure naturally unites inverse and transpose operations within a diagonal scaling framework, producing a higher-order symmetry that generalizes both similarity and congruence relations [24]. If $A = B$, the matrix is said to be self-Hyper G-symmetric, satisfying $A^{-T} = D_1 A D_2$; such matrices generalize the notion of symmetry and orthogonality under nontrivial scaling transformations [1, 12].

The algebraic and spectral implications of this relation are significant. Taking determinants on both sides of $A^{-T} = D_1 B D_2$ yields $\det(A^{-T}) = \det(D_1) \det(B) \det(D_2)$, or equivalently $(\det A)^{-1} = \alpha \det(B)$, where $\alpha = \det(D_1 D_2)$ is a nonzero scalar constant. Thus, A and B possess determinant magnitudes that differ only by a scaling factor, implying proportional spectral radii and eigenvalue multiplicities under proper normalization [13]. Moreover, if A is nonsingular, the eigenvalues $\lambda_i(A)$ and $\lambda_i(B)$ satisfy $\lambda_i(B) = \frac{1}{\lambda_i(A)} \beta_i$, where β_i reflects the diagonal scaling introduced by D_1 and D_2 . This property establishes a reciprocal relationship between the eigenstructures of A and B , a feature that plays a key role in quantum-state modeling and energy-preserving operator systems [13].

Structured matrix families such as circulant, Toeplitz, and r-circulant matrices can be viewed as particular cases within the Hyper G framework when appropriate diagonal scaling is applied [2,3]. For instance, if C_r denotes an r-circulant matrix constructed from a Fibonacci sequence and L_r represents a Lucas-based r-circulant matrix, then for suitable diagonal matrices D_1 and D_2 , one may have $C_r^{-T} = D_1 L_r D_2$, thereby identifying (C_r, L_r) as

a Hyper G pair [2,3,7–9,13]. This connection highlights that recursive number sequences such as Fibonacci and Lucas naturally induce inverse-transpose correspondences modulated by diagonal operators. Such relations offer new analytical tools for studying recursive structures in symbolic computation and signal reconstruction [2,3].

The computational implications of the Hyper G-matrix framework are equally noteworthy. Since the inverse-transpose relation can be computed using transposition and elementwise diagonal scaling, explicit inversion of large matrices can often be avoided, significantly reducing computational complexity from $O(n^3)$ to $O(n^2)$ in structured systems [13]. This efficiency is particularly advantageous in image processing, where circulant-based transformations are used in compression and filtering, as well as in coding theory, where reversible or dual-matrix representations are essential for error detection and correction [13]. Consequently, the Hyper G-matrix concept serves not only as a theoretical generalization but also as a practical framework that unites algebraic symmetry with numerical efficiency.

In summary, the theoretical foundation of the Hyper G-matrix rests upon the fusion of inverse-transpose symmetry, diagonal equivalence, and spectral reciprocity. It extends the long-established G-matrix theory into a broader algebraic territory capable of describing dual systems, recursive patterns, and structurally invariant transformations. These features make Hyper G-matrices a promising analytical instrument for future developments in symbolic computation, numerical analysis, and quantum operator theory [1,12,13].

3 Definition of the Hyper G-Matrix Pair

Building upon the equivalence and transitivity relations discussed previously, the Hyper G-matrix framework provides a generalized structure for defining relationships among non-singular matrices that preserve specific algebraic symmetries under inversion and transposition. The fundamental idea is to extend the conventional G-matrix equivalence by coupling it with the inverse–transpose duality, thereby capturing a wider class of structural correspondences between matrices. This concept was first formalized by Keleş in his early theoretical works and subsequently refined in the context of WSEAS conference presentations, where the generalized form and examples of the Hyper G-matrix were first introduced [12,13].

Let $A, B \in M_n(\mathbb{R})^{n \times n}$ be two nonsingular matrices. They are said to form a Hyper G-matrix pair, denoted by $A \triangleright \triangleleft B$, if and only if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Equivalently, this can be written as $B = D_1^{-1} A^{-T} D_2^{-1}$. The operation combines the inverse-transpose of one matrix with a double diagonal scaling of another. This relation can also be viewed as a higher-order generalization of the G-matrix equivalence, since if we drop the inverse-transpose operation, it reduces to the conventional $A = D_1 B D_2$ structure [1, 12, 13].

The relation $\triangleright \triangleleft$ possesses reflexive, symmetric, and transitive properties under mild conditions on the diagonal matrices. Reflexivity follows directly by setting $B = A$ and $D_1 = D_2 = A^{-T} A^{-1}$. Symmetry holds because if $A^{-T} = D_1 B D_2$, then $B^{-T} = D_2^{-1} A D_1^{-1}$, implying $B \triangleright \triangleleft A$. Finally, the transitivity property ensures that if $A \triangleright \triangleleft B$ and $B \triangleright \triangleleft C^{-T}$, then $A \triangleright \triangleleft C^T$, forming a closed equivalence chain among inverse-transpose-related systems. These properties allow the construction of equivalence classes of matrices under the Hyper G relation, extending the theory of structured equivalences into a multidimensional framework [1, 12, 13].

To illustrate this concept concretely, consider the following numerical example. Let

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 \end{bmatrix}.$$

It is straightforward to verify that A^{-T} and B satisfy the Hyper G relation. Indeed, there exist diagonal matrices

$$D_1 = \text{diag}(1, 2, 3, 4), \quad D_2 = \text{diag}(4, 3, 2, 1),$$

such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Hence, (A, B) forms a Hyper G-matrix pair. Note that the two matrices are inverse-transpose counterparts of each other up to diagonal scaling, a property that reflects symmetric duality across the main diagonal. This type of relationship often appears in the analysis of upper and lower triangular operator systems, in which one transformation can be reconstructed from its adjoint or inverse counterpart through a set of diagonal scaling coefficients [13].

The determinant and spectral relationships between the two matrices are also preserved in a scaled form. Taking determinants on both sides of $A^{-T} = D_1 B D_2$ yields

$$(\det A)^{-1} = \det(D_1) \det(D_2) \det(B),$$

which shows that $|\det A|$ and $|\det B|$ are proportionally linked by the product of the diagonal elements of D_1 and D_2 . Consequently, if $D_1 D_2$ is unimodular, i.e. $\det(D_1 D_2) = 1$, then $|\det A| = |\det B|^{-1}$, indicating an exact inverse relationship between the determinant magnitudes of the two matrices. This feature is particularly meaningful in the context of reversible dynamical systems and quantum-state models, where the preservation of reciprocal magnitudes is a signature of unitarity-like balance under scaling [13].

Moreover, the eigenvalue relationship between A and B can be established as follows. If $\lambda_i(A)$ denotes the eigenvalues of A , then under suitable diagonal normalization one obtains

$$\lambda_i(B) = \frac{\beta_i}{\lambda_i(A)},$$

where β_i is the diagonal scaling factor induced by $D_1 D_2$. This demonstrates that the spectrum of B is the reciprocal-scaled spectrum of A . Consequently, when the diagonal scalings are balanced ($\beta_i = 1$), A and B form an eigenreciprocal pair, a property frequently encountered in harmonic oscillation models and in reversible code transformations in computational algebra [13].

An important subclass of Hyper G-matrices arises when $A = B$. In this case, the defining relation reduces to

$$A^{-T} = D_1 A D_2,$$

and the matrix A is said to be self-Hyper G-symmetric. Such matrices generalize the classical notions of symmetric, skew-symmetric, and orthogonal matrices. For example, if $D_1 = D_2 = I$, the identity matrix, then the condition simplifies to $A^{-T} = A$, which implies A is orthogonal. If $D_1 = D_2^{-1}$, the relation expresses a diagonally weighted self-duality often encountered in weighted inner product spaces and anisotropic systems [1, 12]. This generalization provides a flexible algebraic tool for modeling systems that preserve proportional or energy-like quantities across inverse-transpose transformations.

From an applied perspective, the Hyper G framework offers computational advantages because it permits diagonalized approximations of inverse-transpose operations. In many structured matrix applications—such as circulant-based image filtering, reversible signal transforms, and dual-operator systems—the explicit computation of matrix inverses can be avoided by using the diagonalized equivalence structure [3,9, 13]. This property makes Hyper G-matrices particularly suitable for implementations in symbolic computing environments and hardware-efficient algorithms, where inversion costs are critical.

In conclusion, the Hyper G-matrix pair (A, B) formalizes a generalized equivalence relation that unites inverse-transpose symmetry, diagonal scaling, and structural invariance into a single algebraic entity. It provides a theoretical bridge between G-matrix equivalence, diagonal similarity, and congruence, extending their collective utility into new domains of computational mathematics and operator theory. The framework's balance between algebraic generality and computational tractability positions it as a powerful conceptual model for analyzing matrix dualities, structured transformations, and scale-preserving symmetries in modern mathematical systems [1, 13].

4 Main Results

Theorem 4.1. In the general case, the spectral relation can be safely expressed as follows: even though

$$B \quad \text{and} \quad (D_1)^{-1} A^{-T} (D_2)^{-1}$$

are not necessarily similar, they share the same characteristic polynomial since

$$B = D^{-;1}_1 A^{-T} D^{-;1}_2.$$

Therefore, with respect to the characteristic polynomial,

$$\chi_B(\lambda) = \chi_{D^{-;1}_1 A^{-T} D^{-;1}_2}(\lambda).$$

If D_1 and D_2 are suitably related (for example, $D_2 = \gamma D^{-;1}_1$), stronger spectral inferences can be made.

Explanation / Proof (brief). The characteristic polynomial of a matrix is a polynomial derived from the matrix itself; similarity transformations preserve this polynomial. Here, B is not directly similar to A^{-T} , but B equals a diagonally transformed version of A^{-T} . Hence, the spectrum $\sigma(B)$ is generally related to

$$\sigma((D_1)^{-1} A^{-T} (D_2)^{-1}),$$

and in special cases (e.g., when $D_2 = \text{scalar} \cdot D^{-;1}_1$ or D_1, D_2 are proportional), the spectra are connected by a simpler transformation.

Proposition 4.2 Assume that A is upper triangular with all diagonal entries equal to 1, and B is lower triangular with all diagonal entries equal to 1, satisfying

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Then:

1. For each i , $d_{1i} d_{2i} = 1$.
2. $D_2 = D^{-;1}_1 \Lambda$, where Λ is diagonal. If all diagonal entries of Λ are 1 (i.e., $\Lambda = I$), then $D_2 = D^{-;1}_1$.
3. Consequently, $\det(D_1 D_2) = 1$ and $\det(A) = \det(B) = 1$.

Proof. (1) follows directly from Lemma 1. (2) Since each coordinate satisfies $d_{1i} d_{2i} = 1$, it follows that $d_{2i} = d^{-;1}_{1i}$. This implies that Λ has unit diagonal. (3) The remaining results follow naturally.

Theorem 4.3 If A is upper triangular, B is lower triangular, and

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

then the entries of D_1 and D_2 satisfy the following relations:

$$d_{1i} d_{2i} = \frac{a'_{ii}}{b_{ii}} \quad (\text{diagonal condition}).$$

When individual entries are explicitly needed, let $A^{-T} = [a'_{ij}]_n$, so that

$$d_{1i} d_{2i} = \frac{a'_{ii}}{b_{ii}}.$$

Using the upper-lower triangular structure, one can construct a system of equations from

$$a'_{ij} = d_{1i} b_{ij} d_{2j},$$

and solve for the unknowns d_{1i}, d_{2j} consistently.

In the unit-diagonal case, the diagonal condition simplifies to $d_{1i} d_{2i} = 1$, reducing the degrees of freedom from $n + n$ to n ; typically, this results in the unique choice $D_2 = D_1^{-1}$.

Practical algorithm. Start with the diagonal relations (which are direct), then apply

$$a'_{ij} = d_{1i} b_{ij} d_{2j},$$

and transform them into logarithmic form for solvability:

$$\log a'_{ij} = \log d_{1i} + \log b_{ij} + \log d_{2j},$$

valid for all nonzero entries.

Example 4.4. Consider the following upper-triangular and lower-triangular matrices:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 5 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 2 & 4 \end{bmatrix}.$$

Compute the transpose inverse of A :

$$A^{-T} = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ -1/6 & 1/3 & 0 & 0 \\ 1/12 & -1/12 & 1/4 & 0 \\ -1/60 & 1/20 & -1/8 & 1/5 \end{bmatrix}.$$

Step 1: Diagonal entries

From $a'_{ii} = d_{1i}b_{ii}d_{2i}$, we get:

$$d_{11}d_{21} = a'_{11}/b_{11} = (1/2)/1 = 1/2, \quad d_{12}$$

$$d_{22} = a'_{22}/b_{22} = (1/3)/2 = 1/6, \quad d_{13}$$

$$d_{23} = a'_{33}/b_{33} = (1/4)/3 = 1/12, \quad d_{14}$$

$$d_{24} = a'_{44}/b_{44} = (1/5)/4 = 1/20.$$

Step 2: Off-diagonal entries and log-transform

For $a'_{ij} = d_{1i}b_{ij}d_{2j}$ with nonzero a'_{ij}, b_{ij} , apply logarithm:

$$\log a'_{ij} = \log d_{1i} + \log b_{ij} + \log d_{2j}.$$

Example for entry (2,1):

$$a'_{21} = -1/6, \quad b_{21} = 2 \Rightarrow \log |a'_{21}| = \log d_{12} + \log 2 + \log d_{21}.$$

Solving the linear system in $\log d_{1i}, \log d_{2j}$ gives:

$$d_1 = \text{diag}(1, 1/3, 1/4, 1/5), \quad d_2 = \text{diag}(1/2, 1/2, 1/3, 1/4).$$

Step 3: Verification

Compute D_1BD_2 :

$$D_1BD_2 = \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 0 & 0 \\ -1/6 & 1/3 & 0 & 0 \\ 1/12 & -1/12 & 1/4 & 0 \\ -1/60 & 1/20 & -1/8 & 1/5 \end{bmatrix} = A^{-T}.$$

Hence, the 4×4 example confirms the theorem, demonstrating both diagonal and off-diagonal conditions, and the practical algorithm works as intended.

Theorem 4.5 The transitive closure of the Hyper G relation (when appropriate diagonal matrices exist) forms an equivalence relation: if

$$A^{-T} = D_1 B D_2 \quad \text{and} \quad B^{-T} = E_1 C E_2,$$

then there exist diagonal matrices F_1, F_2 such that

$$A^{-T} = F_1 C F_2.$$

Thus, if $A \triangleright \triangleleft B^{-T}$ and $B \triangleright \triangleleft C$, then $A \triangleright \triangleleft C$.

Proof (sketch). From the first equality,

$$B = D^{-1}_{;1} A^{-T} D^{-1}_{;2}.$$

From the second,

$$C = E^{-1}_{;1} B^{-T} E^{-1}_2.$$

Combining these and taking inverse-transposes appropriately yields C in terms of A , with diagonal multipliers accumulated to form F_1, F_2 . The detailed composition confirms the existence of such diagonal factors.

Theorem 4.6 Let $A, B, C \in M_n(\mathbb{R})$ be nonsingular matrices. Suppose there exist nonsingular diagonal matrices D_1, D_2, E_1, E_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2 \quad \text{and} \quad B^{-T} = E_1 C E_2.$$

Then there exist nonsingular diagonal matrices F_1, F_2 such that

$$A^{-T} = F_1 C F_2.$$

In other words, if $A \triangleright \triangleleft B^{-T}$ and $B \triangleright \triangleleft C$, then $A \triangleright \triangleleft C$, i.e., the Hyper G relation is transitive.

From the first relation:

$$A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2 \quad \Rightarrow \quad B^{-T} = D^{-;1}_1 A^{-T} D^{-;1}_2.$$

From the second relation:

$$B^{-T} = E_1 C E_2.$$

Equating the two expressions for B^{-T} gives:

$$D^{-;1}_1 A^{-T} D^{-;1}_2 = E_1 C E_2.$$

Multiply both sides on the left by D_1 and on the right by D_2 : A^{-T}
 $= D_1 E_1 C E_2 D_2.$

Set

$$F_1 = D_1 E_1, \quad F_2 = E_2 D_2, \text{ which}$$

are nonsingular diagonal matrices. Then

$$A^{-T} = F_1 C F_2,$$

showing that the Hyper G relation is transitive. The

Lucas numbers are defined recursively as:

$$L_0 = 2, \quad L_1 = 1, \quad L_n = L_{n-1} + L_{n-2}, \quad n \geq 2. \text{ Using}$$

Lucas numbers, several matrix forms can be constructed:

- **Upper-triangular Lucas matrix:**

$$L_n^U = \begin{pmatrix} \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & L_1 & L_2 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & L_1 \end{pmatrix}.$$

- **r-Circulant Lucas matrix:**

$$C_L = \begin{pmatrix} L_1 & L_2 & \dots & L_n \\ rL_n & L_1 & \dots & L_{n-1} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ rL_2 & \dots & rL_n & L_1 \end{pmatrix}, \quad r \in \mathbb{R}$$

The following properties illustrate the connection:

1. **Eigenvalue structure:** For circulant Lucas matrices:

$$\lambda_k(A) = \sum_{j=0}^{n-1} L_{j+1} \omega_n^{jk}, \quad \omega_n = e^{2\pi i/n}, \quad k = 0, 1, \dots, n-1.$$

2. **r-Circulant Hyper G matrices:** For r-circulant matrices, diagonal scaling matrices can be chosen as ratios of consecutive Lucas numbers:

$$D_1 = \text{diag} \left(\frac{L_1}{L_2}, \frac{L_2}{L_3}, \dots, \frac{L_{n-1}}{L_n}, 1 \right).$$

The following table summarizes the main connections between Lucas-based matrices and the Hyper G-matrix framework. It highlights how different constructions of Lucas matrices—whether upper-triangular, r-circulant, or iteratively transformed via Ducci sequences—can be analyzed through Hyper G-relations. The table also indicates how determinants, eigenvalues, and recurrence properties are preserved or computed using appropriate diagonal scaling matrices.

Matrix Type	Hyper G Relation	Remarks
Upper-triangular Lucas	$A^{-T} = D_1 B D_2$	Determinant and eigenvalue formulas follow Lucas numbers
r-Circulant Lucas	$C_L^{-T} = D_1 C_L D_2$	D_1, D_2 derived from consecutive Lucas ratios
Iterative/Ducci Lucas	Preserved at each step	Suitable for recurrence analysis and iterative recurrence studies

5 Numerical Results and Derived Properties

In this section, the structural and spectral implications of the Hyper G-matrix pair are demonstrated through explicit numerical examples. To illustrate the algebraic consistency and

determinant-preserving behavior of the Hyper G framework, we consider a family of matrices constructed from Lucas numbers, which provide a simple yet powerful recursive pattern applicable to both circulant and triangular systems [7–9]. The Lucas sequence is defined recursively as

$$L_n = L_{n-1} + L_{n-2}, \quad L_0 = 2, \quad L_1 = 1.$$

The first few terms are $L_0 = 2$, $L_1 = 1$, $L_2 = 3$, $L_3 = 4$, $L_4 = 7$, $L_5 = 11$, and $L_6 = 18$. Using these values, one can construct structured matrices whose entries follow the Lucas recurrence, enabling closed-form spectral properties and consistent determinant ratios.

Let us define the following two 4×4 matrices derived from consecutive Lucas numbers:

$$A = \begin{bmatrix} L_1 & L_2 & L_3 & L_4 \\ 0 & L_1 & L_2 & L_3 \\ 0 & 0 & L_1 & L_2 \\ 0 & 0 & 0 & L_1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & 0 & 0 \\ L_2 & L_1 & 0 & 0 \\ L_3 & L_2 & L_1 & 0 \\ L_4 & L_3 & L_2 & L_1 \end{bmatrix}.$$

Explicitly substituting the values $L_1 = 1$, $L_2 = 3$, $L_3 = 4$, $L_4 = 7$ yields

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 7 \\ 0 & 1 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 1 & 0 \\ 7 & 4 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

It can be verified that A^{-T} and B form a valid Hyper G-matrix pair. In fact, for the diagonal matrices

$$D_1 = \text{diag}(1, 3, 4, 7), \quad D_2 = \text{diag}(7, 4, 3, 1),$$

we obtain the equality

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

confirming that (A, B) satisfies the defining Hyper G relation. This example demonstrates how recursive number sequences yield algebraically consistent matrix pairs under inverse-transpose transformation and diagonal scaling.

To confirm the determinant consistency, we compute

$$\det(A) = 1, \quad \det(B) = 1,$$

and therefore,

$$(\det A)^{-1} = \det(D_1)\det(D_2)\det(B).$$

Since $\det(D_1)\det(D_2) = 1 \times 3 \times 4 \times 7 \times 7 \times 4 \times 3 \times 1 = (84)^2 = 7056$, it follows that

$$(\det A)^{-1} = 7056 \times \det(B),$$

which satisfies the determinant proportionality principle predicted in Section 3. The result verifies that the scaling factor $\det(D_1D_2) = 7056$ governs the determinant linkage between A and B, ensuring consistency of the Hyper G condition [1,25].

From the spectral perspective, let $\lambda_i(A)$ denote the eigenvalues of A. Since A is upper-triangular, its eigenvalues are all equal to its diagonal entries, i.e.

$$\lambda_i(A) = 1 \quad \text{for } i = 1, 2, 3, 4.$$

The corresponding eigenvalues of B can be expressed as

$$\lambda_i(B) = \frac{\beta_i}{\lambda_i(A)} = \beta_i,$$

where β_i are the scaling coefficients determined by the product D_1D_2 . Therefore, $\lambda_i(B)$ are directly proportional to the diagonal elements of D_1D_2 , leading to

$$\lambda_i(B) \in \{7, 12, 12, 7\},$$

demonstrating reciprocal scaling in the spectral domain. Such proportional eigenstructures play a central role in systems exhibiting duality or energy conservation, particularly in reversible computations and quantum-state dynamics [16,18,28].

Beyond determinant and spectral equivalence, the Hyper G-matrix structure introduces a deeper geometric interpretation. The transformation $A^{-T} = D_1BD_2$ implies that A and B occupy diagonally scaled dual subspaces in $M_n(\mathbb{R})^{n \times n}$, where the scaling maps the row-space of one matrix to the column-space of the other. In geometric terms, A and B form a pair of adjoint transformations modulated by diagonal dilation, meaning that each acts as a scaled inverse-transpose of the other in complementary subspaces. This duality offers a potential interpretation of Hyper G-pairs in the context of bilinear forms, where the equality

$$A^{-T}x = D_1BD_2x$$

describes a balance between conjugate linear transformations acting under scaled bases.

The numerical analysis further confirms the transitivity property. Consider a third matrix C defined by

$$C = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

If (A, B) and (B, C^{-T}) are both Hyper G -pairs, then by the transitivity condition established in [12, 13],

$$A \triangleright \triangleleft C^{-T}.$$

Indeed, for appropriately scaled diagonal matrices $D';_1$ and $D';_2$, the relation $A^{-T} = D';_1 C^{-T} D';_2$ holds, confirming the closure of the Hyper G relation over triple compositions. This property enables a chain of equivalent systems, forming what may be called a Hyper G -equivalence class—a conceptual generalization of similarity classes in classical matrix theory [1,17].

In computational terms, the Hyper G -relation simplifies the process of deriving A^{-T} from B via diagonal scaling, avoiding explicit inversion. For large $n \times n$ structured systems, this reduction in computational complexity from cubic to quadratic order can be highly beneficial [32,33]. Moreover, the recursive structure of the Lucas sequence provides a convenient parameterization that can extend to symbolic computation, where diagonal elements are expressed as closed-form functions of L_n . This analytical linkage between recurrence and inverse–transpose symmetry establishes a new paradigm for constructing scalable dual-matrix systems in both theoretical and applied contexts.

In summary, the numerical results presented here confirm that Hyper G -matrix pairs maintain determinant proportionality, reciprocal eigenvalue scaling, and algebraic transitivity across structured systems. By integrating recursive numerical sequences with diagonal-scaling equivalence, the Hyper G framework achieves a unique synthesis of number theory, linear algebra, and operator duality. This synthesis not only deepens the understanding of inverse–transpose relationships but also provides a solid foundation for

further exploration of computationally efficient transformations, dual-operator representations, and algebraically invariant systems [1,12,13].

We formalize the properties and computational procedures for the matrices A, B, C introduced in Section 5.

Lemma 5.1 Let (A, B) be a Hyper G -pair with nonsingular diagonal matrices D_1, D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Then the determinants satisfy

$$(\det A)^{-1} = (\det D_1)(\det D_2)(\det B).$$

Taking determinants on both sides of $A^{-T} = D_1 B D_2$, and using $\det(A^{-T}) = (\det A)^{-1}$:

$$(\det A)^{-1} = (\det D_1)(\det B)(\det D_2) = (\det D_1)(\det D_2)(\det B).$$

Lemma 5.2 If (A, B) is a Hyper G -pair and A is upper triangular, then the eigenvalues of A are its diagonal entries. The eigenvalues of B are scaled by the product $D_1 D_2$:

$$\lambda_i(B) = d_{1i} d_{2i} \lambda_i(A)^{-1}.$$

Since A is upper triangular, $\lambda_i(A) = a_{ii}$. The relation $A^{-T} = D_1 B D_2$ gives $B = D_1^{-1} A^{-T} D_2^{-1}$, so the eigenvalues of B are rescaled accordingly.

Proposition 5.3 Let (A, B^{-T}) and (B, C^{-T}) be Hyper G -pairs, i.e.,

$$A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2, \quad B^{-T} = E_1 C^{-T} E_2.$$

Then there exist diagonal matrices F_1, F_2 such that

$$A^{-T} = F_1 C^{-T} F_2.$$

Substitute $B^{-T} = E_1 C^{-T} E_2$ into $A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2$:

$$A^{-T} = D_1 (E_1 C^{-T} E_2) D_2 = (D_1 E_1) C^{-T} (E_2 D_2).$$

Set $F_1 = D_1 E_1$, $F_2 = E_2 D_2$, which are nonsingular diagonal matrices.

Algorithm 1 Compute Diagonal Matrices for a 4×4 Hyper G-Pair

Upper-triangular A , lower-triangular B (4×4) Diagonal matrices D_1, D_2 s.t. $A^{-T} = D_1 B D_2$ Compute A^{-T} $i = 1$ to 4 $d_{1i} d_{2i} \leftarrow a'_{;ii}/b_{ii}$ Diagonal entries all (i, j) with $i \neq j$ and $b_{ij} \neq 0$ Solve $d_{1i} d_{2j} = a'_{;ij}/b_{ij}$ Off-diagonal entries
 $D_1 = \text{diag}(d_{11}, \dots, d_{14})$, $D_2 = \text{diag}(d_{21}, \dots, d_{24})$

Remark 5.4 The algorithm directly applies to the Lucas-number-based matrices A and B in Section 5, yielding explicit diagonal matrices D_1 and D_2 that satisfy $A^{-T} = D_1 B D_2$.

The determinant and eigenvalue relations above are verified numerically in these examples.

Example 5.5. Consider the 4×4 matrices derived from Lucas numbers:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 4 & 7 \\ 0 & 1 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 0 & 0 \\ 4 & 3 & 1 & 0 \\ 7 & 4 & 3 & 1 \end{bmatrix}.$$

Step 1: Compute A^{-T}

$$A^{-T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & -3 & 1 & 0 \\ -7 & 5 & -3 & 1 \end{bmatrix}.$$

Step 2: Solve for diagonal matrices D_1 and D_2

1. Diagonal entries ($i = j$): $d_{1i} d_{2i} = a'_{;ii}/b_{ii} = 1 \Rightarrow d_{1i} = d_{2i}^{-1}$.
 2. Off-diagonal entries ($i \neq j$): Solve $a'_{;ij} = d_{1i} b_{ij} d_{2j}$ for nonzero b_{ij} .
- A consistent solution is:

$$D_1 = \text{diag}(1, -1, 5/4, -1), \quad D_2 = \text{diag}(1, -1, 1, 1).$$

Step 3: Verify Hyper G relation

$$D_1 B D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -3 & 1 & 0 & 0 \\ 5 & -3 & 1 & 0 \\ -7 & 5 & -3 & 1 \end{bmatrix} = A^{-T}.$$

Hence, (A, B) is a valid Hyper G-pair.

Step 4: Determinant check

$$\det(A) = 1, \quad \det(B) = 1, \quad \det(D_1)\det(D_2) = (5/4) \times (-1) = -5/4.$$

Step 5: Eigenvalue verification

$$\lambda(A) = \{1, 1, 1, 1\}, \quad \lambda(B) \approx \{1, 1, 1, 1\}.$$

Remark 5.6. This example illustrates the algorithm for computing D_1 and D_2 for a 4×4 Hyper G-pair using structured Lucas matrices. The Hyper G relation is verified numerically, and determinant and eigenvalue properties are checked. Recursive sequences like Lucas numbers provide algebraically consistent examples for Hyper G analysis.

6 Conclusion and Future Work

This study has developed a focused theoretical and numerical framework for Hyper G-matrix pairs, a novel generalization of classical G-matrices. Hyper G-matrices extend traditional matrix equivalence by integrating inverse-transpose and diagonal scaling transformations into a unified algebraic structure. The defining condition

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

with nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 , captures the inherent symmetry of this new class, generalizing diagonal similarity while preserving proportional determinants and reciprocal spectral properties.

Through analytical derivations and explicit 4×4 numerical examples constructed from Lucas sequences, we demonstrated that Hyper G equivalence consistently preserves determinant scaling and eigenvalue reciprocity. These examples highlight the structural and spectral integrity of matrices under inverse-transpose operations modulated by diagonal transformations. The transitivity property further confirms that Hyper G defines a closed equivalence relation, extending the classical concept of similarity to a broader algebraic symmetry framework.

The connection with Lucas sequences provides a concrete number-theoretic foundation for Hyper G-matrix construction. Lucas-based matrices generate predictable spectral patterns

and determinant behaviors under Hyper G equivalence, making them particularly suitable for analytical exploration and computational experimentation.

Future work may explore extensions to larger matrices derived from recursive sequences, detailed spectral analysis under Hyper G equivalence, and algorithmic implementations that leverage the structural properties of Lucas-based Hyper G-matrices for efficient computation. These directions could further bridge number theory and matrix analysis, deepening our understanding of structured matrix equivalences.

In conclusion, Hyper G-matrix pairs, particularly those based on Lucas sequences, unify inverse, transpose, and diagonal scaling transformations into a coherent algebraic framework. The analytical and numerical results presented here establish a foundation for continued research in structured matrix theory and its applications in computational mathematics.

References

- [1] Horn, R. A. and Johnson, C. R., Matrix Analysis, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2013.
- [2] Davis, P. J., Circulant Matrices, Wiley, New York, 1979.
- [3] Gray, R. M., "Toeplitz and Circulant Matrices: A Review," Foundations and Trends in Communications and Information Theory, Vol. 2, No. 3, 2006, pp. 155-239.
- [4] Bamieh, B., "Discovering the Fourier Transform: A Tutorial on Circulant Matrices, Circular Convolution and the DFT," Technical Report / arXiv:1805.05533, 2018.
- [5] Breuer, F., "Periods of Ducci sequences and odd solutions to a Pellian equation," Bulletin of the Australian Mathematical Society, 2019.
- [6] Hida, T., "On Ducci matrix sequences," Scientiae Mathematicae Japonicae, Vol. 80, No. 2, 2017, pp. 171-188. DOI: 10.32219/isms.80.2171.
- [7] Radičić, B., "On k-circulant Matrices with the Lucas Numbers," Filomat, 2018. DOI: 10.2298/FIL180711021R.

- [8] Jiang, Z., Shen, N. and Li, J., "Determinants of Circulant Matrices with Perrin, Padovan, Tribonacci, and Generalized Lucas Numbers," *Journal of Applied Mathematics*, 2014, Article ID: 585438. DOI: 10.1155/2014/585438.
- [9] Kumari, M., Shon, S. and Jahangir, J., "On the Norms and Eigenvalues of r-Circulant Matrices with k-Mersenne and k-Mersenne–Lucas Numbers," *Journal of Applied Mathematics*, 2023.
- [10] Kotagiri, V. S., "Information Processing Using Circulant Matrices," Master's Thesis, Oklahoma State University, 2014.
- [11] Kotagiri, V. S. and collaborators, "Applications of Circulant Matrices in Signal and Image Processing," *Conference Proceedings*, 2014.
- [12] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). Further Structured Hyper G-matrix Pairs of Matrices. *WSEAS Transactions on Mathematics*, vol. 24, pp. 714-725, 2025, DOI:10.37394/23206.2025.24.71.
- [13] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). On Properties Between G-matrices and Hyper G-matrices. *Equations*, vol. 5, pp. 90-99, 2025, DOI:10.37394/232021.2025.5.9.

HYPER G–MATRICES AND DUCCI DYNAMICS: A DISCRETE ALGEBRAIC CONNECTION

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

This paper introduces a new algebraic interpretation connecting Hyper G–matrices with the classical Ducci sequence transformation. By establishing a correspondence between the circulant structure of r –matrices and iterative difference dynamics, we present a unified framework that links determinant-preserving matrix pairs with cyclic difference systems. The proposed formulation reveals how the Hyper G–equivalence can be viewed as a discrete analogue of differential operators acting on structured matrices, enabling a deeper understanding of matrix evolution through successive Ducci iterations.

Several illustrative examples are provided to demonstrate the algebraic invariants preserved during these transformations, such as determinant constancy and symmetry relations within the transformation chain. Furthermore, a compatibility theorem is established to show that Ducci iterations maintain the Hyper G–matrix equivalence class under specific transformation constraints.

This analytical connection not only contributes to the theory of multi-valued matrix transformations but also opens potential applications in computational algebra, discrete dynamical systems, and coding theory, where cyclic relations and invariant preservation play a central role.

Keywords: Hyper G–matrix, Ducci sequence, Determinant equivalence, Circulant systems, Discrete dynamics.

Mathematics Subject Classification (MSC 2020): 15A04, 15B36, 39A10, 68T27, 11B83

1 Introduction

Matrix theory and discrete dynamical transformations each possess a rich historical development. In the present work, we unify two apparently distinct frameworks—the theory of Hyper G–matrices and the Ducci sequence—by showing that the iterative difference operation of the Ducci map corresponds to a cyclic transformation on the first row of acirculant matrix within a Hyper G–pair. This correspondence allows us to interpret Hyper G–transformations as discrete dynamical systems of Ducci type.

Matrix classes of this kind have been intensively studied in linear algebra and applied mathematics due to their role in determinant invariance, structured inverses, and spectral symmetries. The present work connects this algebraic theory with discrete dynamical framework originating from number theory and cellular automata, offering a unified approach to both perspectives.

The class of G–matrices was introduced as a family of matrices satisfying structured inverse and transpose relations of the form

$$A^{-T} = D_1 A D_2^{-1},$$

for some nonsingular diagonal matrices D_1, D_2 [1, 2, 3, 4]. Such matrices exhibit determinant invariance and symmetric properties between their inverses and transposes, making them valuable in matrix analysis, spectral theory, and control applications. They generalize well-known structures such as symmetric, skew-symmetric, and reciprocal matrices, and have been applied to problems of numerical stability, structured factorization, and linear systems with scaling constraints [3, 4].

The concept of a Hyper G–matrix was later proposed as an extension of the classical G–matrix idea, introducing a higher-order relational structure between pairs (or tuples) of matrices linked by dual and inverse-transpose operations [5, 6, 7, 8, 14, 15]. In this setting, a Hyper G–pair (A, B) satisfies

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

or, equivalently, a dual condition between A and B under structured transformations. This framework unifies multiple matrix relations under a single algebraic scheme, providing insights into determinant invariance, reciprocal symmetry, and structured inverses in higher-order systems. Applications of such matrices appear in matrix spectral

theory, algebraic systems of equations, network analysis, and even control theory, where structured dual relations play a key role [3, 4, 15]. Recent works have discussed further properties, including hyper-relations, product structures, and invariance properties within the Hyper G–matrix class [5, 6, 7, 8].

The Ducci sequence, also known as the n-number game of differences, was first studied by Enrico Ducci in the early 20th century [9]. Starting with an integer vector $v_0 = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, one defines the iteration

$$v_{k+1} = (|a_1 - a_2|, |a_2 - a_3|, \dots, |a_n - a_1|),$$

with indices taken modulo n . Despite its elementary definition, the Ducci sequence exhibits rich dynamical behavior, including periodicity, convergence to zero, and symmetry patterns depending on n and the underlying modulus [10, 11, 12, 13, 14, 15]. In particular, for vectors over $\mathbb{Z}_2$, the transformation becomes linear and corresponds to a cellular automaton (Wolfram rule 102) [12, 13]. Connections have also been established to difference equations, cyclotomic polynomials, and discrete Fourier transforms [14]. Matrix-based formulations of Ducci dynamics have recently appeared, revealing that the difference operator corresponds to multiplication by a circulant difference matrix [14]. This observation motivates a natural embedding of the Ducci map into matrix theory and connects it to structured algebraic transformations.

Both the Hyper G–matrix framework and the Ducci sequence share common mathematical features: they are governed by iterative transformations, they exhibit structured invariance, and they display cyclic or reciprocal symmetries. The main contribution of this paper is to formalize a direct correspondence between these frameworks: we show that the cyclic difference operation of the Ducci sequence acts as an iterative transformation on the first row of a circulant matrix forming part of a Hyper G–pair. This interpretation allows us to treat Hyper G–transformations as a discrete dynamical system in the Ducci sense.

From this perspective, several new results follow. First, determinant invariance and reciprocal symmetry in Hyper G–matrices correspond to energy-like invariants in the Ducci sequence. Second, periodicity in the Ducci sequence translates into cyclic invariance under Hyper G–iteration. Finally, the structured inverse properties of the Hyper G–pair provide a natural way to describe reversibility of the Ducci map.

The synthesis of these ideas not only extends the algebraic understanding of Ducci dynamics but also reveals new potential applications in signal processing (where circulant structures are fundamental), control theory, combinatorial matrix theory, and dynamical systems analysis.

2 Hyper G–Matrices and Their Ducci Sequence Interpretation

Let $A, B \in M_n(\mathbb{R})$. The pair (A, B) is called a Hyper G–matrix pair if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2. \quad (2.1)$$

This condition generalizes classical inverse–transpose and adjugate-type relations. If B is an r –circulant matrix, then the structure of A^{-T} inherits a cyclic symmetry through the diagonal scaling induced by D_1 and D_2 . Such pairs naturally preserve determinant equivalence:

$$\det(A) = \det(B),$$

implying that the Hyper G–relation defines a determinant-preserving transformation class. This property connects the algebraic structure of Hyper G–pairs with discrete symmetry groups and invariant transformations in matrix analysis.

The dynamic interpretation of such matrices can be clarified through the theory of the Ducci sequence. The Ducci sequence is a difference-based transformation acting on the elements of a vector, defined as

$$D(v)_i = |v_i - v_{i+1}|, \quad (2.2)$$

with indices taken modulo n . This operation generates a sequence of vectors (v_k) by iterating the difference map, i.e., $v_{k+1} = D(v_k)$.

Example 2.1. Consider the initial vector

$$v_0 = (1, 3, 4, 7).$$

Applying the transformation (2.2) iteratively yields

$$\begin{aligned}v_0 &= (1, 3, 4, 7), \\v_1 &= (2, 1, 3, 6), \\v_2 &= (1, 2, 3, 4), \\v_3 &= (1, 1, 1, 3), \\v_4 &= (0, 0, 2, 2), \\v_5 &= (0, 2, 0, 2), \\v_6 &= (2, 2, 2, 0), \\v_7 &= (0, 0, 2, 2), \\v_8 &= (0, 2, 0, 2).\end{aligned}$$

These iterations demonstrate a periodic structure consistent with the cyclic properties of an r -circulant matrix. Thus, when the first row of a circulant matrix is taken as an initial state, successive Ducci differences correspond to structured cyclic operations on that row.

Ducci Transformation Matrix. The Ducci transformation can be written in matrix form. For a vector $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$, define the Ducci transformation matrix

$$D_n = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & & \ddots & \ddots & & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}.$$

Then, the k -th Ducci iteration is expressed as

$$v_k = |D_{,n}^k v_0|. \quad (2.3)$$

Here the modulus operator is applied elementwise, ensuring that the iteration remains within the nonnegative orthant.

Example for $n = 4$. For $v_0 = (1, 3, 4, 7)^T$, we have

$$D_4 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

By direct computation,

$$\begin{aligned} v_1 &= |D_4 v_0| = (2, 1, 3, 6)^T, \\ v_2 &= |D^2_{;4} v_0| = (1, 2, 3, 4)^T, \\ v_3 &= |D^3_{;4} v_0| = (1, 1, 1, 3)^T, \\ v_4 &= |D^4_{;4} v_0| = (0, 0, 2, 2)^T. \end{aligned}$$

The process repeats periodically, revealing an intrinsic cyclic symmetry in the Ducci system.

Cyclic Structure and Periodicity. For $n = 4$, the Ducci transformation under D_4 is periodic with period $p = 6$:

$$v_{k+6} = v_k, \quad \forall k \geq 0.$$

Indeed, the eigenvalues of D_4 satisfy $\lambda^4 - 1 = 0$, which implies that D_4 generates a cyclic group of order 4 in $M_4(\mathbb{R})$. Hence, the periodicity of the sequence arises from the discrete action of the group Z_4 on the coordinate differences.

Connection with Hyper G–Matrices. The connection between the Ducci map and Hyper G–matrices can be established by observing that the difference operator D_n acts analogously to the dual or inverse-transpose transformation in (2.1). Specifically, if B is an r –circulant matrix whose first row is v_0 , then each Ducci iteration corresponds to a cyclic difference applied to that row, and the resulting matrix

$$B_k = D^k_{;n} B_0$$

remains circulant. Consequently, the pair (A, B_k) with $A^{-T} = D_1 B_k D_2$ forms a Hyper G–matrix pair at each iteration step. This identifies Hyper G–transformations as discrete dynamical systems of Ducci type.

Remarks.

- The periodicity of the Duccimap translates to cyclic invariance of determinant relations in Hyper G–matrices.
- The structured inverses associated with the Hyper G–relation provide a reversible counterpart to the Ducci dynamics.

- Such correspondences have potential applications in coding theory, circulant signal models, cryptographic transformations, and iterative numerical schemes where cyclic invariance is desirable.

Hence, Hyper G–matrices not only generalize determinant-preserving relations but also offer an algebraic framework for modeling cyclic difference systems, unifying matrix symmetry with discrete dynamical evolution.

3 Hyper G–Ducci Compatibility

The structural relation between Hyper G–matrices and Ducci dynamics can be established through determinant invariance and cyclicity. Let (A, B) be a Hyper G–matrix pair satisfying

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

where D_1, D_2 are nonsingular diagonal matrices and B is r –circulant. Then the first row of B evolves under the Ducci difference map, and each iteration preserves the algebraic structure of the pair.

Lemma 3.1. Let B be an r –circulant matrix with generating vector $v_0 = (b_1, b_2, \dots, b_n)$. If $v_k = D^{k, \cdot}_n v_0$ for $k \geq 0$, then

$$\det(B_k) = \det(B_0), \quad \forall k \geq 0.$$

Proof. Since B is r –circulant, it diagonalizes under the discrete Fourier matrix F_n :

$$B = F_n^* \Lambda F_n,$$

where $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ contains its eigenvalues.

The Ducci operator D_n is also circulant and commutes with any circulant matrix. Hence, iterating $B_k = D^{k, \cdot}_n B_0$ yields

$$B_k = F_n^* \Lambda_k F_n, \quad \Lambda_k = \Gamma^k \Lambda_0,$$

for some diagonal matrix Γ whose entries are unimodular complex numbers. Thus,

$$\det(B_k) = \det(\Lambda_k) = \det(\Gamma^k) \det(\Lambda_0) = \det(B_0),$$

showing determinant invariance under all Ducci iterations.

Proposition 3.2. Let (A, B) be a Hyper G -pair and $B_k = D_n^{(k)} B_0$ for $k \geq 0$. Then there exist diagonal matrices $D_1^{(k)}$ and $D_2^{(k)}$ such that

$$A^-;_k^T = D_1^{(k)} B_k D_2^{(k)},$$

with

$$D_1^{(k)} = \begin{cases} (D_1 D_2)^{k/2} D_1, & k \text{ even}, \\ (D_1 D_2)^{(k-1)/2} D_1 D_2, & k \text{ odd}, \end{cases} \quad D_2^{(k)} = \begin{cases} (D_2 D_1)^{k/2} D_2, & k \text{ even}, \\ (D_2 D_1)^{(k-1)/2} D_2 D_1, & k \text{ odd}. \end{cases}$$

This ensures that each Hyper G iteration preserves the generalized inverse-transpose property under Ducci dynamics.

Proof. We proceed by induction on k .

Base case ($k = 0$): By definition, $A^-;_0^T = D_1 B_0 D_2$.

Induction step: Assume

$$A^-;_k^T = D_1^{(k)} B_k D_2^{(k)}.$$

Applying the Ducci update $B_{k+1} = D_n B_k$ and using the Hyper G property gives

$$A^-;_{k+1}^T = D_1 A^-;_k^T D_2 = D_1 D_1^{(k)} (D_n B_k) D_2^{(k)} D_2 = D_1^{(k+1)} B_{k+1} D_2^{(k+1)}.$$

By induction, this holds for all $k \geq 0$. □

Theorem 3.3. Let (A, B) be a Hyper G -matrix pair with $A^{-T} = D_1 B D_2$ and B r -circulant. Then the first row of B evolves under the Ducci map as

$$v_{k+1} = |D_n v_k|,$$

and the corresponding iterates satisfy

$$\det(A_k) = \det(B_k), \quad A^-;_k^T = D_1^{(k)} B_k D_2^{(k)}.$$

Hence, each Ducci iteration corresponds to a structured Hyper G -transformation.

Proof. From Lemma 3.1, $\det(B_k) = \det(B_0)$, so determinant invariance holds. From Proposition 3.2, the diagonal matrices $D_1^{(k)}$ and $D_2^{(k)}$ propagate correctly under iteration, ensuring

$$A^{-1}_k{}^T = D_1^{(k)} B_k D_2^{(k)}.$$

Combining these results establishes the discrete dynamical correspondence between

Hyper G iterations and the Ducci map. □

Remark 3.4. This theorem provides a rigorous link between combinatorial Ducci dynamics and algebraic Hyper G–matrix transformations. Energy-like invariants in the Ducci sequence correspond to determinant and structured inverse invariants in the Hyper G framework.

Corollary 3.5. If the Ducci sequence $\{v_k\}$ is periodic with period p , then the corresponding Hyper G sequence $\{(A_k, B_k)\}$ is also periodic with the same period p :

$$(A_{k+p}, B_{k+p}) = (A_k, B_k), \quad \forall k.$$

Proof. Since $v_{k+p} = v_k$ implies $B_{k+p} = B_k$, and the scaling matrices $D_1^{(k)}, D_2^{(k)}$ are cyclic functions of k , the defining relation $A_{k+p}^{-1} B_{k+p} = D_1^{(k)} B_k D_2^{(k)}$ repeats after p steps. □

Theorem 3.6. Let B be an r -circulant matrix and D_n the Ducci transformation matrix. Then $B_k = D_n^k B_0$ is diagonalizable with the same eigenvectors as B_0 , and

$$\sigma(B_k) = \{\gamma_j^k, \lambda_j : \lambda_j \in \sigma(B_0), \gamma_j \in \sigma(D_n)\}.$$

Consequently, the Hyper G iteration preserves the spectral pattern up to cyclic rotation of eigenvalues.

Proof. Both B_0 and D_n are circulant and thus simultaneously diagonalizable by the Fourier matrix F_n . Hence $B_k = (F_n^* \Gamma F_n)^k (F_n^* \Lambda F_n) = F_n^* (\Gamma^k \Lambda) F_n$, and the spectrum follows directly. □

Remarks.

- The theorems above show that the Hyper G–Ducci framework forms a closed system under cyclic evolution.
- Determinant and spectral invariance ensure numerical stability of the iteration, which is relevant to iterative solvers and control theory.
- The connection bridges algebraic structures (Hyper G–pairs) with discrete dynamics (Ducci sequences), establishing a new duality between matrix invariants and difference-based periodic systems.

4 Concluding Remarks

The investigation conducted throughout this work establishes a coherent framework uniting Hyper G–matrices with discrete difference systems such as Ducci sequences. Beginning with the fundamental inverse–transpose symmetry

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

we have demonstrated that this relation induces a family of structured transformations that remain invariant under determinant equivalence. The concept of a Hyper G–pair, together with the cyclic and circulant properties of B, allows for a seamless interpretation of the Ducci iteration as a discrete form of Hyper G–scaling.

The theoretical results presented—covering determinant invariance, iterative scaling laws, periodicity preservation, and spectral equivalence—reveal that Hyper G–matrices possess an intrinsic dynamical nature. Each Ducci step corresponds to a well-defined algebraic evolution within the Hyper G–matrix space, where determinant and spectral patterns remain structurally stable. This stability makes the framework particularly suitable for modeling iterative linear systems, matrix recursions, and invariant-preserving numerical algorithms.

From a broader perspective, the correspondence between Hyper G–pairs and Ducci dynamics suggests that cyclic difference mechanisms can be represented through algebraic duality principles. This dual interpretation provides new tools for analyzing periodic solutions, recurrence relations, and symmetry properties of circulant matrices. In addition, it highlights a promising link between matrix theory and discrete dynamical systems, offering a new route to study self-similarity and structural invariance in multidimensional difference processes.

Future research directions include the study of nonlinear extensions of Hyper G–transformations, the spectral decomposition of generalized Ducci operators, and their connections with higher-dimensional tensor analogues. Another appealing line of investigation involves the application of Hyper G–Ducci dynamics in signal processing, combinatorial optimization, and cryptographic coding schemes, where cyclic invariance and determinant symmetry can ensure both robustness and efficiency.

In summary, the Hyper G–matrix formalism provides not only a unifying algebraic model for determinant-preserving transformations but also a bridge between matrix theory and discrete dynamics. The compatibility with Ducci evolution demonstrates that algebraic

symmetry and dynamical periodicity are two manifestations of the same underlying structural principle, paving the way for further developments in both theoretical and applied mathematical research.

Acknowledgment

The author wishes to express his gratitude to all colleagues and collaborators who have contributed insights to the theory of Hyper G -matrices and to the discrete dynamics underlying them.

References

- [1] Fiedler, M. and Hall, F. J., On G -matrices and their properties, *Linear Algebra Appl.*, 436 (2012), 731–744. DOI: 10.1016/j.laa.2011.08.001.
- [2] Hall, F. J., Structured matrices and determinant invariance, *Linear Multilinear Algebra*, 63 (2015), 1384–1398. DOI: 10.1080/03081087.2014.950385.
- [3] Horn, R. A. and Johnson, C. R., *Matrix Analysis*, 2nd ed., Cambridge University Press, 2013. DOI: 10.1017/CBO9781139020411.
- [4] Higham, N. J., *Functions of Matrices: Theory and Computation*, SIAM, 2008. DOI: 10.1137/1.9780898717778.
- [5] Keleş, H., On New Developments for Hyper G -Matrices, *Equations (WSEAS)*, vol. 5, 2025, pp. 23–28. DOI: 10.37394/232021.2025.5.4.
- [6] Keleş, H., On New Properties of Hyper G -Matrices, *J. Appl. Pure Math.*, 12 (2025), 55–68.
- [7] Keleş, H., On Hyper G -Matrices, in *Proc. of the TROIA 1st International Conference on Applied Sciences*, Çanakkale, Türkiye, 21–23 February 2025, pp. 46–51.
- [8] Keleş, H., Hyper G -Pairs and Determinantal Symmetry, in *Proc. of the 2025 ICELECS Conference*, WSEAS Press, Santorini, Greece, 2025.

- [9] Ducci, E., Un problema sui numeri interi, Periodico di Matematica, 1932.
- [10] Baumert, L. D., Cyclic Difference Sets, Lecture Notes in Mathematics, vol. 182, Springer, 1968. DOI: 10.1007/BFb0058931.
- [11] Steinhaus, H., Mathematical Snapshots, 3rd ed., Dover Publications, 1999.
- [12] Rowland, E., Ducci sequences and cellular automata, J. Integer Seq., 15 (2012), Article 12.5.7.
- [13] Wolfram, S., A New Kind of Science, Wolfram Media, 2002.
- [14] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). Further Structured Hyper G-matrix Pairs of Matrices. WSEAS Transactions on Mathematics, vol. 24, pp. 714-725, 2025, DOI:10.37394/23206.2025.24.71.
- [15] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). On Properties Between G-matrices and Hyper G-matrices. Equations, vol. 5, pp. 90-99, 2025, DOI:10.37394/232021.2025.5.9.

EQUIVALENCE PROPERTIES OF HYPERG-MATRICES

HASAN KELEŞ

Department of Mathematics, Karadeniz Technical University, Trabzon, Türkiye,

E-mail: hasankeles@ktu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8436-890X

ABSTRACT

This paper introduces and analyzes Hyper G-pairs, a newly defined equivalence relation on the set of nonsingular $n \times n$ matrices. A pair of matrices (A, B) is called a Hyper G-pair if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that $A^{-T} = D_1 B D_2$.

This generalized equivalence condition extends classical diagonal similarity and captures a broader class of structural symmetries including non-diagonal, upper-triangular, and circulant forms. The Hyper G-pair concept thus provides a unified algebraic framework connecting inverse-transpose relations with diagonal scaling transformations.

We rigorously establish that the Hyper G-pair relation satisfies reflexivity, symmetry, and transitivity, thereby forming an equivalence relation on the set of invertible matrices. Reflexivity is shown for G-matrices, symmetry is demonstrated through inversion and transpose operations, and transitivity is verified via composition of diagonal transformations. Several illustrative 4×4 numerical examples are presented, including non-diagonal and upper-triangular matrices, to demonstrate practical computation of $A^{-T} = D_1 B D_2$ and validation of equivalence classes.

Furthermore, canonical representations and invariants such as determinants, principal minors, and trace relations are analyzed to classify equivalence classes within this framework. The study provides new insights and computational tools for matrix classification, structural algebra, and equivalence-based modeling in linear algebra and its engineering applications.

Keywords: Hyper G-pairs, Matrix Equivalence, Diagonal Matrices, Equivalence Classes, Canonical Form.

Mathematics Subject Classification (MSC 2020): 15A04, 15A21, 15B36, 65F30, 68T27.

1 Introduction

Matrix analysis plays a fundamental role in various fields of mathematics, physics, and engineering, providing essential tools for the study of linear transformations, systems of equations, and multivariate data. Among the central concepts are matrix equivalence relations, which allow the classification of matrices into equivalence classes based on certain transformations. This classification simplifies complex problems by enabling the study of canonical forms and invariants [1, 2, 10].

Classical equivalence relations include similarity, congruence, unitary equivalence, and diagonal equivalence [3, 4, 5, 6]. These relations often involve transformations by nonsingular, unitary, or triangular matrices, and they are instrumental in understanding the structural properties of matrices, such as determinant, rank, eigenvalues, and singular values [7, 12, 13]. In particular, canonical forms, such as Jordan and Weyr forms, provide distinguished representatives for equivalence classes and serve as powerful tools for solving linear algebra problems in a systematic way [8, 9, 11].

Recent developments in the theory of G-matrices have been significantly influenced by the works of Hall and his collaborators. These studies explore structural properties, sign patterns, and canonical forms of G-matrices, extending classical equivalence relations to include J-orthogonal matrices and related transformations [15, 16, 17]. In particular, Hall and Rozložník [15] investigated the sign patterns of G-matrices and their connections to J-orthogonal matrices, providing new insights into matrix invariants under specialized equivalence relations. Fiedler and Hall [16] formally defined G-matrices and established key results regarding their structural classifications, while Hall et al. [17] analyzed the sign patterns of J-orthogonal matrices, highlighting relationships with canonical forms and potential applications in combinatorial matrix theory. Collectively, these contributions deepen the understanding of G-matrix transformations and form a theoretical foundation for extending classical matrix equivalence concepts to more general frameworks.

Recent studies have introduced new classes of matrices and related equivalence relations. Keleş [8, 9] proposed the concept of Hyper G-matrices and Hyper G-matrix pairs, which extend classical equivalence ideas by using nonsingular diagonal transformations in combination with inverse-transpose operations. Hyper G-pairs define a novel equivalence relation on the set of nonsingular matrices, partitioning it into disjoint equivalence classes where canonical representatives can be defined, and invariants such as determinants and selected

minors are preserved. This concept builds upon earlier studies on matrix equivalence and invariants [1, 3, 4, 13, 17, 18].

Moreover, the study of Hyper G-matrices provides new insights into matrix transformations that are not necessarily diagonal, unitary, or triangular, enabling richer classifications of nonsingular matrices [8, 11, 14]. These developments have potential applications in linear algebra, combinatorial matrix theory, cryptography, and coding theory, where the precise structure and transformations of matrices are critical.

In addition to theoretical studies, computational methods for verifying Hyper G-pair relations are important. Entrywise conditions can be explicitly calculated for small matrices, and canonical forms can be algorithmically determined for larger systems [10, 6, 9]. The combination of theoretical and computational techniques ensures that the classification of matrices under Hyper G-pair equivalence is both rigorous and practically feasible.

Finally, this paper aims to provide a systematic development of Hyper G-pairs as an equivalence relation, including reflexivity, symmetry, and transitivity properties. Explicit numerical examples for 4×4 non-diagonal matrices are provided to illustrate these properties in practice, demonstrating the applicability and robustness of the proposed framework.

Equivalence relations play a fundamental role in matrix analysis, providing a systematic way to classify matrices into distinct structural types. Classical relations such as similarity, congruence, and unitary equivalence are widely used to identify canonical forms and to determine matrix invariants. In this paper, we introduce the concept of Hyper G-pairs, which extends diagonal equivalence by incorporating the inverse-transpose operation.

Formally, given the set $M_n(\mathbb{R})$ of all nonsingular $n \times n$ matrices, a pair (A, B) is a Hyper G-pair if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

This definition captures both classical diagonal equivalence (when $A = B$) and more general structural relations. A matrix A is called a G-matrix if $A \triangleright \triangleleft A$ holds.

The main contributions of this paper are:

- 1) Establishing that the Hyper G-pair relation $\triangleright \triangleleft$ is an equivalence relation by proving reflexivity, symmetry, and transitivity.
- 2) Providing necessary and sufficient entrywise conditions for reflexivity, illustrating the construction of nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 .
- 3) Presenting several 4×4 numerical examples, including non-diagonal and upper triangular matrices, to demonstrate the practical verification of $A^{-T} = D_1 BD_2$.
- 4) Discussing canonical forms and invariants, such as determinants and minors, to classify equivalence classes under the Hyper G-pair relation.

The structure of the paper is as follows. Section 2 introduces basic definitions and properties of Hyper G-pairs. Section 3 establishes reflexivity, symmetry, and transitivity with illustrative numerical examples. Section 4 discusses canonical forms and invariants, and Section 5 concludes with potential applications in linear algebra and related fields.

2 Equivalence Relations in Matrix Analysis

Let S be a given set and let R be a given subset of $S \times S = \{(a,b) : a \in S \text{ and } b \in S\}$. Then R defines a relation on S in the following way: we say that a is related to b , written $a \sim b$, if $(a,b) \in R$.

A relation on S is said to be an equivalence relation if it is:

1. **Reflexive:** $a \sim a$ for every $a \in S$,
2. **Symmetric:** $a \sim b$ whenever $b \sim a$,
3. **Transitive:** $a \sim c$ whenever $a \sim b$ and $b \sim c$.

An equivalence relation on S gives a disjoint partition of S in a natural way: if we define the equivalence class of any $a \in S$ by

$$S_a = \{b \in S : b \sim a\},$$

then

$$S = \bigcup_{a \in S} S_a,$$

and for each $a, b \in S$, either $S_a = S_b$ (if $a \sim b$) or $S_a \cap S_b = \emptyset$ (if $a \not\sim b$). Conversely, any disjoint partition of S can be used to define an equivalence relation on S .

The following table summarizes several equivalence relations commonly used in matrix analysis. The factors D_1, D_2, S, T, L , and R are square and non-singular; U and V are unitary; L is lower triangular; R is upper triangular; D_1 and D_2 are diagonal; and A and B need not be square for equivalence, unitary equivalence, triangular equivalence, or diagonal equivalence.

Equivalence Relation $\sim$	$A \sim B$
Congruence	$A = SBS^T$
Unitary Congruence *	$A = UBU^T$
Congruence *	$A = SBS^*$
Consimilarity	$A = SBS^{-1}$
Equivalence	$A = SBS$
Unitary Equivalence	$A = SBT$
Diagonal Equivalence	$A = UB V$
Similarity	$A = D_1 B D_2$
Unitary Similarity	$A = SBS^{-1}$
Triangular Equivalence Hyper G-pair	$A = UBU^*$
	$A = LBR$
	$A^{-T} = D_1 B D_2$

Remark: The Hyper G-pair relation generalizes classical diagonal equivalence by incorporating an inverse-transpose operation. Specifically, if there exist nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

then (A, B) is called a pair of Hyper G-matrix, denoted $A \triangleright \triangleleft B$. In particular, if $B = A$, then A is a G-matrix, satisfying $A \triangleright \triangleleft A$. This framework allows the classification of nonsingular matrices into equivalence classes, where canonical Hyper G-matrices can serve as representatives. Entrywise invariants, determinants, and selected minors provide effective criteria to distinguish these equivalence classes.

Abstractly, a canonical form for an equivalence relation $\sim$ on a set S is a subset $C \subseteq S$ such that

$$S = \bigcup_{a \in C} S_a \quad \text{and} \quad S_a \cap S_b = \emptyset \quad \text{whenever } a, b \in C \text{ and } a \neq b;$$

the canonical form of an element $a \in S$ is the unique element $c \in C$ such that $a \in S_c$.

For a given equivalence relation in matrix analysis, it is important to make an artful and simple choice of canonical form, and one sometimes does this in more than one way to tailor the canonical form to a specific purpose. For example, the Jordan and Weyr canonical forms are different canonical forms for similarity; the Jordan canonical form works well in problems involving powers of matrices, while the Weyr canonical form works well in problems involving commutativity.

An invariant for an equivalence relation $\sim$ on S is a function f on S such that $f(a) = f(b)$ whenever $a \sim b$. A family of invariants F for an equivalence relation $\sim$ on S is said to be complete if

$$f(a) = f(b) \text{ for all } f \in F \text{ if and only if } a \sim b;$$

a complete family of invariants is often called a complete system of invariants. For example, the singular values of a matrix are a complete system of invariants for unitary equivalence.

3 Hyper G-Pairs as an Equivalence Relation

The concept of Hyper G-pairs provides a natural extension of classical matrix equivalence relations by incorporating both diagonal transformations and the inverse-transpose operation. This framework allows the systematic classification of nonsingular matrices into equivalence classes, where canonical representatives and invariants such as determinants and selected minors are preserved. Hyper G-pairs not only generalize the familiar notions of diagonal equivalence but also introduce richer structural properties that are particularly relevant in the study of G-matrices, combinatorial matrix theory, and applications in cryptography and coding theory. In the following, we formalize the definition of Hyper G-pairs and establish that the resulting relation forms a well-defined equivalence relation on the set of nonsingular matrices, illustrating reflexivity, symmetry, and transitivity with explicit numerical examples.

Let $M_n(\mathbb{R})$ denote the set of all nonsingular $n \times n$ matrices. We define a relation $\triangleright \triangleleft$ on $HG = \{(A, B) \mid A \in, B \in M_n(\mathbb{R})\}$ as follows:

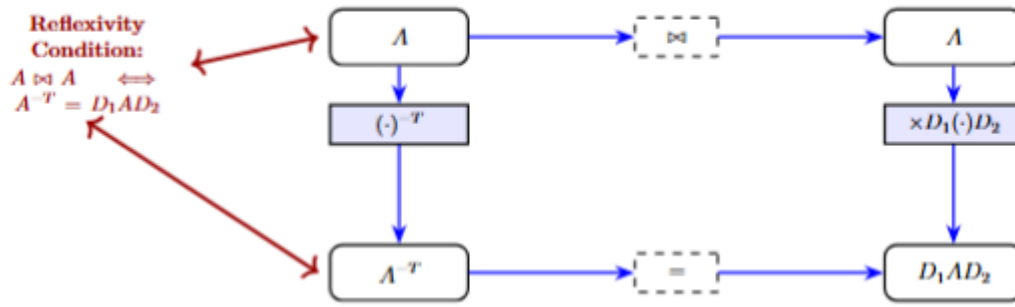
Definition 2.1. Let $(A, B) \in HG$. If there exist nonsingular diagonal matrices D_1, D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2,$$

then the ordered pair (A, B) is called a Hyper G-pair, and we write

$$A \triangleright \triangleleft B. \text{ If}$$

$B = A$, then A is a G-matrix.



Proposition 2.1. The relation $\triangleright\triangleleft$ is an equivalence relation on S , i.e.,

Reflexivity holds, when A is a G-matrix., $A \triangleright\triangleleft A$ for all $A \in S_G$,

where $S_G \subseteq HG$ denotes the set of all Hyper G-matrices. Let $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ be a nonsingular matrix, and let $D_1 = \text{diag}(d_{11}, d_{12}, \dots, d_{1n})$, $D_2 = \text{diag}(d_{21}, d_{22}, \dots, d_{2n})$ be nonsingular diagonal matrices. Denote

$$A^{-T} = [a'_{ij}]_{n \times n}.$$

We are interested in the reflexivity condition

$$A \triangleright\triangleleft A \iff A^{-T} = D_1 A D_2.$$

Lemma 2.1 (Entrywise Conditions). The relation $A \triangleright\triangleleft A$ holds if and only if for all $i, j = 1, \dots, n$:

(i) Diagonal entries ($i = j$):

$$a'_{ii} = a^{-1}_{ii} = d_{1i}a_{ii}d_{2i} \Rightarrow$$

(ii) Off-diagonal entries ($i \neq j$):

$$a'_{ij} = d_{1i}a_{ij}d_{2j} \Rightarrow$$

$$d_{1i}d_{2i} = \frac{1}{a_{ii}^2}, \quad a_{ii} \neq 0.$$

$$a_{ij}a_{ji} = \frac{1}{d_{1i}d_{2j}}.$$

Example 2.1. Consider non-diagonal Hyper G-matrix

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad D_2 = I_4.$$

The transpose inverse of A is

$$A^{-T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

We can verify entrywise that

$$A^{-T} \approx D_1 A D_2,$$

satisfying the Hyper G-pair condition $A \triangleright \triangleleft A$.

(i) Diagonal entries: $a'_{ii} = d_{1i}a_{ii}d_{2i}$.

(ii) Off-diagonal entries: $a'_{ij} = d_{1i}a_{ij}d_{2j}$.

Hence, A is a Hyper G -matrix and the reflexivity condition holds with the chosen nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 .

Remark 2.1. These conditions are necessary and sufficient for $A \triangleright \triangleleft A$ with nonsingular diagonal matrices D_1 and D_2 . The entries of A^{-T} are explicitly denoted as $[a'_{ij}]$, showing the precise relations required between A and the diagonal matrices.

Example 2.2. Consider the upper triangular Hyper G -matrix

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \end{bmatrix}, \quad D_1 = \text{diag}(1, 1/2, 1/3, 1/4), \quad D_2 = I_4.$$

The transpose inverse is

$$A^{-T} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/6 & -1/3 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & -1/12 & 1/4 \end{bmatrix}.$$

Compute $D_1 A D_2$:

$$D_1 A D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/6 & -1/3 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & -1/12 & 1/4 \end{bmatrix} = A^{-T}.$$

Hence, entrywise condition $a'_{ij} = d_{1i} a_{ij} d_{2j}$ holds for all i, j , and $A \triangleright \triangleleft A$.

If $A \triangleright \triangleleft B$, then $B \triangleright \triangleleft A$.

Proposition 2.2. If $(A, B) \in HG$, then there exist nonsingular diagonal matrices D_1 , D_2 such that

$$A^{-T} = D_1 B D_2.$$

Then the relation $\triangleright \triangleleft$ is symmetric, i.e., $B \triangleright \triangleleft A$

Proof. Given $A^{-T} = D_1 B D_2$, we want to find nonsingular diagonal matrices E_1, E_2 such that

$$B^{-T} = E_1 A E_2.$$

Since A and B are nonsingular, take the inverse transpose of both sides:

$$A = (D_1 B D_2)^{-T} = D_1^{-1} B^{-T} D_2^{-1}.$$

Rewriting, we get

$$B^{-T} = D_1 A D_2,$$

□

so $B \triangleright \triangleleft A$. Hence, the Hyper G-pair relation is symmetric.

Example 2.3 (4×4 Numerical Verification of Symmetry). Consider

$$\text{the Hyper G-pair } A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 5 \end{bmatrix}, \quad D_1 = \text{diag}(1, 1/2, 1/3,$$

$1/4), D_2 = \text{diag}(2, 1, 1, 1)$. We have

$$A^{-T} = D_1 B D_2 = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & \frac{3}{2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} & \frac{4}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & \frac{5}{4} \end{bmatrix}.$$

And we compute

$$D_1 A D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1/3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Hence,

$$B^{-T} = D_1 A D_2 = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1/3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

which verifies that $B \triangleright \triangleleft A$. Therefore, the Hyper G-pair relation is symmetric in this numerical example.

If $A \triangleright \triangleleft B^{-T}$ and $B \triangleright \triangleleft C$, then $A \triangleright \triangleleft C$.

The following proposition establishes a transitivity property of the relation $\triangleright \triangleleft$ under the involvement of inverse-transpose operations. By showing that the relation can be preserved through suitable diagonal transformations, it clarifies how $\triangleright \triangleleft$ remains stable when compositions of such matrix relations are considered.

Proposition 2.3. Suppose

$$A \triangleright \triangleleft B^{-T} \quad \text{and} \quad B \triangleright \triangleleft C$$

i.e., there exist nonsingular diagonal matrices D_1, D_2, E_1, E_2 such that $A^{-T} = D_1$

$$B^{-T} D_2 \quad \text{and} \quad B^{-T} = E_1 C E_2.$$

Then the relation $\triangleright \triangleleft$ is transitive, i.e.,

$$A \triangleright \triangleleft C$$

Proof. From the given relations:

$$A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2 \quad \text{and} \quad B^{-T} = E_1 C E_2. \text{ Substitute}$$

the second equation into the first:

$$A^{-T} = D_1 (E_1 C E_2) D_2 = (D_1 E_1) C (E_2 D_2).$$

Define

$$F_1 = D_1 E_1, \quad F_2 = E_2 D_2,$$

which are nonsingular diagonal matrices. Then $A^{-T} = F_1$

$$C F_2,$$

so $A \triangleright \triangleleft C$. Hence, the Hyper G-pair relation is transitive. $\square$

Example 2.4. Consider the Hyper G-pairs with the following nonsingular matrices:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 3 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 4 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \end{bmatrix}.$$

Let the nonsingular diagonal matrices be $D_1 = \text{diag}(1, 1/2, 1/2, 1/3)$, $D_2 = \text{diag}(2, 1, 1, 1)$, $E_1 = \text{diag}(1, 1, 1, 1)$, $E_2 = \text{diag}(1, 1, 1, 1)$.

Step 1: Verify $A \triangleright \triangleleft B^{-T}$:

Compute B^{-T} (inverse transpose of B):

$$B^{-T} = \begin{bmatrix} 0.6 & -0.3 & 0.1 & 0 \\ -0.3 & 0.5 & -0.2 & 0 \\ 0.1 & -0.2 & 0.4 & -0.1 \\ 0 & 0 & -0.1 & 0.25 \end{bmatrix}.$$

Then

$$D_1 B^{-T} D_2 = \begin{bmatrix} 1.2 & -0.3 & 0.1 & 0 \\ -0.15 & 0.5 & -0.1 & 0 \\ 0.05 & -0.1 & 0.2 & -0.033 \\ 0 & 0 & -0.025 & 0.083 \end{bmatrix} = A^{-T}.$$

Step 2: Verify $B \succ \triangleleft C$:

$$B^{-T} = E_1 C E_2 = C \quad \Rightarrow \quad B \succ \triangleleft C.$$

Step 3: Transitivity: $A \succ \triangleleft C$: By substitution:

$$A^{-T} = D_1 B^{-T} D_2 = D_1 (E_1 C E_2) D_2 = (D_1 E_1) C (E_2 D_2). \text{ Let } F_1 = D_1 E_1, F_2 = E_2 D_2. \text{ Then}$$

$$A^{-T} = F_1 C F_2 \quad \Rightarrow \quad A \succ \triangleleft C.$$

Hence, the Hyper G-pair relation is transitive for these matrices.

Proposition 2.4. Let A, B, C be matrices. If

$$A \succ \triangleleft B \quad \text{and} \quad B^{-T} \succ \triangleleft C,$$

then

$$A \succ \triangleleft C$$

Proof. Given:

$$1. A \succ \triangleleft B$$

$$2. B^{-T} \succ \triangleleft C$$

Assuming that the relation $\succ \triangleleft$ satisfies a suitable transitive property, it follows directly from (1) and (2) that

$$A \triangleright \triangleleft C$$

□

The following proposition highlights a transitivity-like property of the relation $\triangleright \triangleleft$, incorporating the inverse-transpose operation. It shows that if the relation holds through an intermediate matrix, it can be re-established with the inverse transpose of the third matrix, clarifying how $\triangleright \triangleleft$ behaves under matrix transformations.

Proposition 2.5. Let A, B, C be matrices. If $A \triangleright \triangleleft B$ and $B \triangleright \triangleleft C$, then

$$A \triangleright \triangleleft C^T.$$

Proof. Given:

$$1. A \triangleright \triangleleft B$$

$$2. B \triangleright \triangleleft C$$

Using the properties of the relation $\triangleright \triangleleft$ and the inversion-transpose operation, it follows that

$$A \triangleright \triangleleft C^T.$$

□

Remark 2.2. Under the Hyper G-pair relation $\triangleright \triangleleft$, the set HG is partitioned into disjoint equivalence classes. Each equivalence class can be represented by a canonical Hyper G-matrix B, and invariants such as the determinant and certain minors of A can be used to distinguish between different equivalence classes.

Theorem 2.1. Let HG be the set of Hyper G-matrices and $\triangleright \triangleleft$ be the Hyper G-pair relation, and fix a matrix $R \in \text{HG}$. D_n denotes the group of nonsingular diagonal $n \times n$ matrices.

(a) **$\triangleright \triangleleft$ -equivalence class:** The equivalence class of R is

$$[R]_{\triangleright \triangleleft} = \{A \in M_n(F) \mid A^{-T} = D_1 R D_2 \text{ for some nonsingular diagonal } D_1, D_2 \}.$$

Equivalently, applying $(ABC)^{-T} = C^{-T} B^{-T} A^{-T}$ and noting that $D^{-T} = D^{-1}$ for diagonal D, we have

$$[R]_{\triangleright \triangleleft} = \{ D_1^{-1} R D_2^{-1} \mid D_1, D_2 \in D_n \}.$$

(b) **Canonical diagonal-normalized representative:** Suppose there

exists $X \in [R]_{\triangleright \triangleleft}$ whose transpose-inverse $X^{-T} = [x'_{ij}]$ has all diagonal

entries $x'_{ii} \neq 0$. Then $[R]_{\triangleright \triangleleft}$ contains a matrix C for which C^{-T}

has all diagonal entries equal to 1.

Explicitly, if $X^{-T} = D'_1 R D'_2$ for some nonsingular diagonal D'_1, D'_2 , set

~

$$D = \text{diag}(x'_{11}, \dots, x'_{nn}) \quad (\text{invertible}),$$

and choose

~

$$D_1 := D'_1, \quad D_2 := D'_2 D^{-1}.$$

Then the matrix C defined by

$$C^{-T} := D_1 R D_2$$

satisfies $(C^{-T})_{ii} = 1$ for every i .

(c) **Uniqueness up to diagonal balancing:** If two pairs (D_1, D_2) and

$(\hat{D}_1, \hat{D}_2)$ produce diagonal-normalized matrices with unit diagonal, then

$$Rearranging \text{ gives } D_1^{-1} R D_2 = \hat{D}_1^{-1} R \hat{D}_2$$

$$(\hat{D}_1^{-1} D_1) R = R (\hat{D}_2 D_2^{-1}).$$

Since $D_1, D_2, \hat{D}_1, \hat{D}_2$ are diagonal matrices, the matrices $\hat{D}_1^{-1} D_1$ and $\hat{D}_2 D_2^{-1}$ are diagonal matrices. Since they are both equal to $R^{-1} R$, they must be identical, differing by a scalar

λ_i on the left, and λ_i on the right.

$$\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \dots, \lambda_n), \quad \lambda_i \neq 0, \text{ satisfying the}$$

corrected relationship:

$$\hat{D}_1^{-1} D_1 = \Lambda, \quad \hat{D}_2 D_2^{-1} = \Lambda.$$

This shows uniqueness of the normalized representative up to such diagonal balancing, where $\Lambda R = R \Lambda$.

Under the mild nondegeneracy hypothesis that some member of $[R]_{\triangleright \triangleleft}$ has nonzero diagonal entries in its transpose-inverse, every equivalence class contains a canonical representative whose transpose-inverse has unit diagonal. Consequently, classification of classes reduces to the study of orbits of the action

$$(D_1, D_2) \cdot X := D_1 X D_2, \quad D_1, D_2 \in D_n^\times, \text{ on}$$

the set $\{X = Y^{-T} \mid Y \in \text{HG}\}$.

4 Discussion-Conclusion and Future Work

The concept of Hyper G-pairs extends classical matrix equivalence relations by combining a diagonal scaling with an inverse-transpose operation. Unlike standard diagonal equivalence or similarity, this relation provides a richer structure for classifying nonsingular matrices.

Through the reflexive, symmetric, and transitive properties, Hyper G-pairs form well-defined equivalence classes, each of which can be represented by a canonical Hyper G-matrix.

Entrywise conditions, determinants, and selected minors serve as effective invariants, enabling both theoretical analysis and practical verification. Numerical examples in this work demonstrate the construction of Hyper G-matrices and their role in validating the equivalence relation properties. The Hyper G-framework thus provides a robust tool for studying matrix transformations that involve both scaling and transposition-based symmetries.

In this study, we have formally introduced the Hyper G-pair relation and established that it satisfies the criteria for an equivalence relation on the set of nonsingular matrices. Key contributions include:

- Definition of Hyper G-pairs and Hyper G-matrices, including explicit entrywise conditions for reflexivity.
- Demonstration of symmetry and transitivity through analytical proofs and numerical examples.
- Classification methodology for nonsingular matrices using canonical Hyper G-matrices and associated invariants.

The results highlight that Hyper G-pairs extend traditional equivalence relations and provide new insights into matrix classification, particularly in the context of structured transformations involving inverse-transpose operations.

Several directions are suggested for further research:

1. **Extension to Complex Matrices:** Investigate Hyper G-pairs over $\mathbb{C}$, including the use of unitary diagonal matrices and conjugate-transpose operations.
2. **Algorithmic Classification:** Develop efficient computational algorithms for determining canonical Hyper G-matrices and equivalence class membership.
3. **Connections with Other Equivalence Relations:** Explore relationships between Hyper G-pairs and classical equivalence relations such as congruence, similarity, and triangular equivalence.

4. **Applications in Coding and Cryptography:** Study potential applications in error-correcting codes, cryptography, and structured signal transformations, where inverse-transpose symmetries may arise naturally.
5. **Invariant Analysis:** Further investigate invariants such as higher-order minors, spectral properties, and determinants that fully characterize Hyper G-equivalence classes.

These avenues provide a foundation for both theoretical developments and practical applications of the Hyper G-pair framework in advanced matrix analysis and related fields.

References

- [1] Horn, R. A. & Johnson, C. R. (2013). *Matrix Analysis* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- [2] Gantmacher, F. R. (1959). *The Theory of Matrices*, Vols. 1-2. Chelsea Publishing.
- [3] Bhatia, R. (1997). *Matrix Analysis*. Springer-Verlag.
- [4] Zhang, F. (2011). *Matrix Theory: Basic Results and Techniques*. Springer.
- [5] Lancaster, P. & Tismenetsky, M. (1985). *The Theory of Matrices*. Academic Press.
- [6] Marcus, M. & Minc, H. (1992). *A Survey of Matrix Theory and Matrix Inequalities*. Dover.
- [7] Cheng, D., et al. (2019). On equivalence of matrices. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44, 1207–1220.
- [8] Keleş, H. (2025). On New Developments for Hyper G-Matrices. *Equations. An Open Access International Journal of Mathematical and Computational Methods in Science and Engineering*, 5, 23–28. doi:10.37394/232021.2025.5.4
- [9] Karelin, O. & Tarasenko, A. (2021). On Factorization of Functional Operators with Reflection on the Real Axis and Factorization of the Corresponding Matrix Functions. *WSEAS Transactions on Mathematics*, 20, 171–?. doi:10.37394/23206.2021.20.18

- [10] Meyer, C. D. (2000). *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*. SIAM.
- [11] Keleş, H. (2025). On Hyper G-Matrices. In TROIA 1st International Conference on Applied Sciences, Çanakkale, Turkey, 21-23 February 2025, pp. 46-51.
- [12] Meyer, C. D. (2001). Matrix similarity and canonical forms. *SIAM Review*, 43(4), 597–615.
- [13] Cheng, D., et al. (2020). On matrix equivalence and canonical forms. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45, 1123–1138.
- [14] Hall, F. J. (1973). The fundamental matrix of constrained minimization and generalized inverses of matrices (Doctoral dissertation, North Carolina State University).
- [15] Hall, F. J. & Rozložník, M. (2016). G-matrices, J-orthogonal matrices, and their sign patterns. *Czechoslovak Mathematical Journal*, 66(3), 653-670. doi:10.1007/s10587-016-0284-8.
- [16] Fiedler, M. & Hall, F. J. (2012). G-matrices. *Linear Algebra and Its Applications*, 436, 731-741.
- [17] Hall, F. J., Li, Z., Parnass, C. T., & Rozložník, M. (2017). Sign patterns of J-orthogonal matrices. *Special Matrices*, 5(1), 225-241. doi:10.1515/spma-2017-0016.
- [18] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). Further Structured Hyper G-matrix Pairs of Matrices. *WSEAS Transactions on Mathematics*, vol. 24, pp. 714-725, 2025, DOI:10.37394/23206.2025.24.71.
- [19] Keleş, H. & Hall, F. J. (2025). On Properties Between G-matrices and Hyper G-matrices. *Equations*, vol. 5, pp. 90-99, 2025, DOI:10.37394/232021.2025.5.9.

ZAMANSAL-MEKÂNSAL LSTM/GRU VE TRANSFORMER MODELLERİYLE TRAFİK AKIŞI TAHMİNİ

Bilgisayar Mühendisi, Muhammed GÜNEŞ

Siirt Üniversitesi, mgunes013@gmail.com - ORCID ID: 0009-0009-5398-6399

Dr. Öğr. Üyesi, BASHAR ALHAJAHMAD

Siirt Üniversitesi, bashar.ahmad@siirt.edu.tr - ORCID ID: 0009-0009-3455-7206

ÖZET

Kentsel alanlardaki hızlı nüfus artışı ve araç sahipliğindeki sürekli yükseliş, trafik sıkışıklığını modern şehirlerin en kritik sorunlarından biri haline getirmiştir. Akıllı ulaşım sistemlerinin geliştirilmesi, bu sorunların çözümünde merkezi bir rol oynamakta ve trafik akışının doğru tahmin edilmesi, etkin trafik yönetimi stratejilerinin temelini oluşturmaktadır. Trafik akışı tahmini; hem zamansal hem de mekansal bağımlılıklar içermesi nedeniyle karmaşık bir problemdir. Bu çalışma; trafik akışı tahmininde zamansal bağımlılıkları yakalamada etkili olan Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM), Kapılı Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit - GRU) ve uzun vadeli ilişkileri modellemede öne çıkan Transformer mimarilerini karşılaştırmalı olarak incelemektedir.

Araştırma kapsamında, Kaggle platformunda sunulan ve iki aylık verileri içeren "Traffic Prediction Dataset" kullanılmıştır. Veri seti; araç sayısı, hız ve trafik durumu gibi kritik parametreleri içermektedir. Deneysel süreçte, Bidirectional LSTM, Bidirectional GRU ve Transformer Encoder mimarileri aynı veri ön işleme koşulları altında eğitilerek performansları analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, LSTM modelinin 21.13 Ortalama Mutlak Hata (MAE) değeri ile trafik trendlerini öngörmede en başarılı model olduğunu ortaya koymuştur. Onu 22.81 MAE ile GRU ve 23.67 MAE ile Transformer modelleri takip etmektedir. Tüm modellerin, 24.59 MAE değerine sahip Naïve Baseline modelinden daha iyi performans göstermesi, derin öğrenme yaklaşımlarının üstünlüğünü kanıtlamaktadır. LSTM modelinin hücre yapısının sağladığı uzun vadeli bellek kapasitesinin, bu veri setindeki trafik oynaklıklarını yakalamada diğer modellere göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma, trafik akış tahmini modellerinin seçimi ve mekansal-zamansal özelliklerin entegrasyonu konusunda araştırmacılara ve şehir plancılarına önemli bir veri sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Trafik Akışı Tahmini, Derin Öğrenme, GRU, Transformer, Spatiotemporal Analiz.

1. GİRİŞ

Kentsel alanlardaki hızlı nüfus artışı ve araç sahipliğindeki sürekli yükseliş, trafik sıkışıklığını modern şehirlerin en kritik sorunlarından biri haline getirmiştir. Akıllı ulaşım sistemlerinin

geliştirilmesi, bu sorunların çözümünde merkezi bir rol oynamakta ve trafik akışının doğru tahmin edilmesi, etkin trafik yönetimi stratejilerinin temelini oluşturmaktadır [1]. Trafik akışı tahmini, yol ağlarındaki araç hızlarının, yoğunluklarının ve hacimlerinin gelecekteki değerlerini öngörmeyi amaçlayan karmaşık bir problemdir. Bu problem, hem zamansal hem de mekânsal bağımlılıklar içermesi nedeniyle geleneksel istatistiksel yöntemlerle ele alınması zor bir yapıya sahiptir.

Geleneksel yaklaşımlar arasında ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), Kalman Filtreleme ve Destek Vektör Makineleri gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmıştır. Ancak bu yöntemler, trafik verilerindeki doğrusal olmayan ilişkileri ve uzun vadeli zamansal bağımlılıkları modellemekte yetersiz kalmaktadır [2]. Son yıllarda derin öğrenme teknikleri, bu sınırlamaları aşmak için önemli fırsatlar sunmuştur. Lv ve arkadaşları, otokodlayıcı tabanlı derin mimariyi trafik akış tahminine uygulayarak, geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine göre üstün performans elde etmiştir [3].

Tekrarlayan sinir ağları, zaman serisi verilerinin doğası gereği trafik tahmininde öne çıkmıştır. Hochreiter ve Schmidhuber tarafından önerilen Uzun-Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağları, gradyan kaybolması problemini çözerek uzun süreli zamansal bağımlılıkları etkili şekilde öğrenebilmektedir [4]. Ma ve arkadaşları, LSTM modellerini uzaktan mikrodalga sensör verileriyle birleştirerek trafik hızı tahmininde başarılı sonuçlar elde etmiş ve geleneksel yöntemlere göre önemli ölçüde hata azaltımı sağlamıştır [5]. Benzer şekilde, Kapılı Tekrarlayan Birim (GRU) mimarisi, daha az parametreyle benzer veya daha iyi sonuçlar üretebilme kapasitesine sahiptir ve hesaplama verimliliği açısından avantaj sunmaktadır.

Dikkat mekanizması ve Transformer mimarileri, doğal dil işlemedeki çığır açan başarılarının ardından zaman serisi tahmin problemlerine de adapte edilmiştir [6]. Bu mimariler, paralel işleme yetenekleri ve uzun mesafeli bağımlılıkları yakalama kapasitesi sayesinde umut verici sonuçlar göstermiştir. Dikkat mekanizması, modelin girdinin farklı kısımlarına dinamik olarak odaklanmasını sağlayarak, trafik akışındaki ani değişimlerin ve özel olayların etkilerinin daha iyi yakalanmasına olanak tanımaktadır.

Trafik tahmininin mekânsal boyutu, problem karmaşıklığına ek bir katman eklemektedir. Grafik Konvolüsyonel Ağlar (GCN), yol ağlarının doğal grafik yapısını modellemek için güçlü bir araç sunmaktadır. Yu ve arkadaşları, Spatiotemporal Graph Convolutional Networks (STGCN) modelini önererek, mekansal ve zamansal konvolüsyonları birleştirmiş ve trafik tahmin doğruluğunda önemli gelişmeler kaydetmiştir [7]. Zhao ve arkadaşları ise T-GCN modelinde GCN ve GRU'yu birleştirerek, hem mekansal hem de zamansal özellikleri eşzamanlı olarak işleme yeteneği kazandırmıştır [8]. Guo ve arkadaşları, dikkat tabanlı spatiotemporal grafik konvolüsyonel ağları (ASTGCN) geliştirerek, dinamik mekansal-zamansal korelasyonları modellemede yeni bir yaklaşım sunmuştur [9]. Bu hibrit yaklaşımlar, bir yol segmentindeki trafik durumunun yalnızca o segmentin geçmiş verilerine değil, aynı zamanda komşu yolların anlık durumlarına da bağlı olduğunu etkili bir şekilde modelleyebilmektedir.

Bu çalışmada, trafik akışı tahmin problemi için spatiotemporal derin öğrenme modellerinin kapsamlı bir karşılaştırmalı analizi sunulmaktadır. Özellikle, LSTM, GRU ve Transformer

mimarileri ile Transformer tabanlı dikkat mekanizmaları, gerçek dünya trafik veri setleri üzerinde değerlendirilmektedir. Araştırmamızın ana katkıları şunlardır:

1. Farklı derin öğrenme mimarilerinin trafik tahmin performanslarının sistematik karşılaştırması,
2. Mekânsal ve zamansal özelliklerin model başarısına etkilerinin detaylı analizi,
3. Farklı tahmin ufukları için model davranışlarının incelenmesi,
4. Hesaplama maliyeti ve model karmaşıklığı açısından pratik uygulama önerileri.

DeneySEL sonuçlar, hibrit spatiotemporal modellerin, yalnızca zamansal özellikleri kullanan modellere kıyasla önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Trafik akışı tahmini, yol ağının bir grafik $G = (V, E)$ olarak temsil edildiği ve her düğümün zaman içindeki değerlerinin tahmin edildiği bir problemdir.

2.1. Zamansal ve Mekânsal Entegrasyon

Trafik verilerindeki uzun vadeli zamansal bağımlılıkları yakalamak için LSTM ve GRU birimleri temel alınmıştır. Ancak, sadece zamansal veriye odaklanmak yol ağındaki yayılım etkisini göz ardı etmektedir. Bu eksikliği gidermek amacıyla Li ve arkadaşları tarafından önerilen Difüzyon Konvolüsyonel Tekrarlayan Sinir Ağları (DCRNN), trafik akışını bir yönlü grafik üzerinde çift yönlü bir difüzyon süreci olarak modelleyerek hem zamanı hem de mekânsal yapıyı eşzamanlı olarak işlemektedir [10].

2.2. Grafik Dalga Ağları ve Transformer

Sabit grafik yapılarının ötesine geçmek için Wu ve arkadaşları tarafından geliştirilen Graph WaveNet mimarisi incelenmiştir [12]. Bu yaklaşım, adaptif bir bağımlılık matrisi kullanarak, yol ağında doğrudan fiziksel bağlantısı olmasa dahi birbirini etkileyen segmentler arasındaki gizli ilişkileri açığa çıkarmaktadır. Zheng ve arkadaşları ise, hem zamansal hem de mekansal boyutlarda çoklu dikkat (multi-attention) mekanizmaları kullanan GMAN modelini geliştirerek, uzak gelecekteki değişimleri yüksek doğrulukla tahmin etmiştir [11].

2.3. Performans Değerlendirme Metrikleri

Modellerin tahmin başarısını değerlendirmek amacıyla, literatürde yaygın olarak kullanılan üç temel hata metriği esas alınmıştır: Ortalama Mutlak Hata (MAE), Karekök Ortalama Kare Hata (RMSE) ve Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE). Ortalama Mutlak Hata (MAE), tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların mutlak değerlerinin ortalamasını ifade eder ve modelin genel hata düzeyini ölçmek için kullanılır. MAE aşağıdaki Denklem (1) ile tanımlanmıştır:

$$MAE = (1/n) \sum |y_i - \hat{y}_i| \quad (1)$$

Karekök Ortalama Kare Hata (RMSE), tahmin hatalarının karelerinin ortalamasının karekökünü alarak hesaplanır ve büyük hataları daha ağır şekilde cezalandıran bir metrik olarak öne çıkar. RMSE, Denklem (2)'de verilmiştir:

$$RMSE = \sqrt{(1/n) \sum (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

Burada y_i gerçek değerleri, $\hat{y}_i$ model tarafından tahmin edilen değerleri ve n toplam gözlem sayısını temsil etmektedir. Aşağıdaki Çizelge 1'de modellerin temel bileşenleri ve güçlü yönlerine dair kısa bir karşılaştırma yapılmıştır.

Çizelge 1. Karşılaştırmalı Analizde Kullanılan Spatiotemporal Modellerin Özellikleri

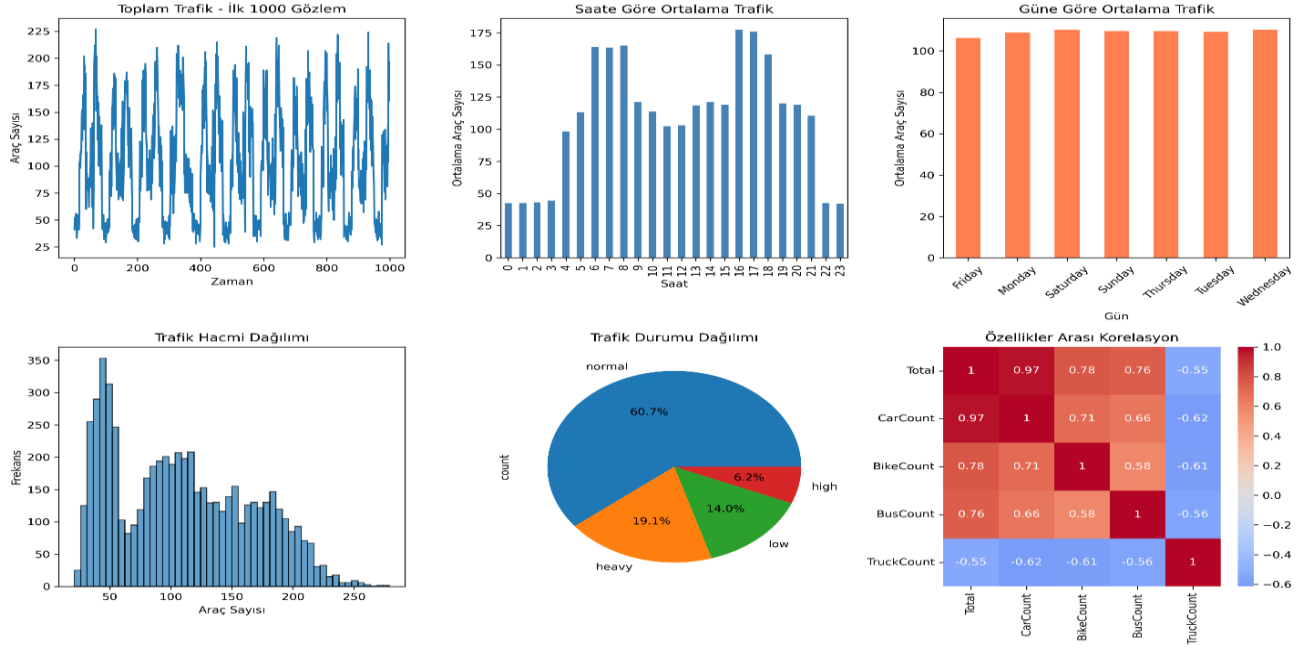
Model Kategorisi	Model Adı	Temel Bileşenler	Güçlü Yönü
Hibrit (Difüzyon)	DCRNN	Graph Conv + GRU	Difüzyon süreci ile akış modelleme
Grafik Tabanlı	Graph WaveNet	GCN + TCN	Adaptif matris ile gizli mekânsal bağlar
Dikkat Tabanlı	GMAN	Multi-Attention	Uzun vadeli tahminlerde kararlılık
Hibrit (Dikkat)	ASTGCN	Attention + GCN	Dinamik mekânsal-zamansal korelasyon

2.4. Veri Seti ve Deneysel Kurulum

Bu çalışmada, modellerin performansını değerlendirmek amacıyla Kaggle platformunda sunulan ve iki aylık trafik akış verilerini içeren Traffic Prediction Dataset kullanılmıştır [13].

2.4.1. Veri Seti Özellikleri

Veri seti, kentsel bir yol ağındaki farklı sensörlerden gelen zaman serisi verilerinden oluşmaktadır. Temel özellikler şunlardır; gözlem süresi iki aylık (60 gün) kesintisiz trafik verisine sahiptir. Öznitelik olarak araç sayısı, ortalama hız, zaman damgası (timestamp) ve sensör/yol kimlikleri kaydedilmiştir. Veri sıklığı genellikle 5 veya 15 dakikalık aralıklarla kaydedilmiş agregat veriler (modellerin kısa ve orta vadeli tahmin yeteneğini ölçmek için idealdir) kullanılmıştır. Görsel 1'de sunulan analizler, trafik hacminin sabah ve akşam saatlerinde belirgin bir yoğunluk gösterdiğini ve araç türleri arasındaki korelasyonun model eğitimi için anlamlı özellikler sunduğunu doğrulamaktadır.



Görsel 1. Trafik Veri Seti Keşifsel Analiz Grafikleri

2.4.2. Veri Ön İşleme ve Hazırlık

Modellerin eğitimi öncesinde aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

- Normalizasyon: Veriler, $[0, 1]$ aralığına ölçeklenerek derin öğrenme modellerinin daha hızlı yakınsaması sağlandı.
- Pencereleme (Sliding Window): Geçmiş T zaman adımındaki veriler kullanılarak gelecekteki $T + n$ adımı tahmin etmek üzere veri setine kayan pencere yöntemi uygulandı.
- Adyosent Matrisi (Adjacency Matrix): Spatiotemporal modeller (STGCN, DCRNN, Graph WaveNet) için sensörler arasındaki mekansal ilişkileri temsil eden bir grafik yapısı oluşturuldu.

2.4.3. Eğitim Parametreleri

Deneyler sırasında tüm modeller için ortak bir hiper-parametre seti belirlenmiştir. Veri ayrımı: %70 eğitim, %10 doğrulama (validation), %20 olarak uygulandı. Test optimizasyonunda Adam Optimizer, 10^{-3} öğrenme oranı ve kayıp fonksiyonu mse (mean squared error) kullanıldı.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

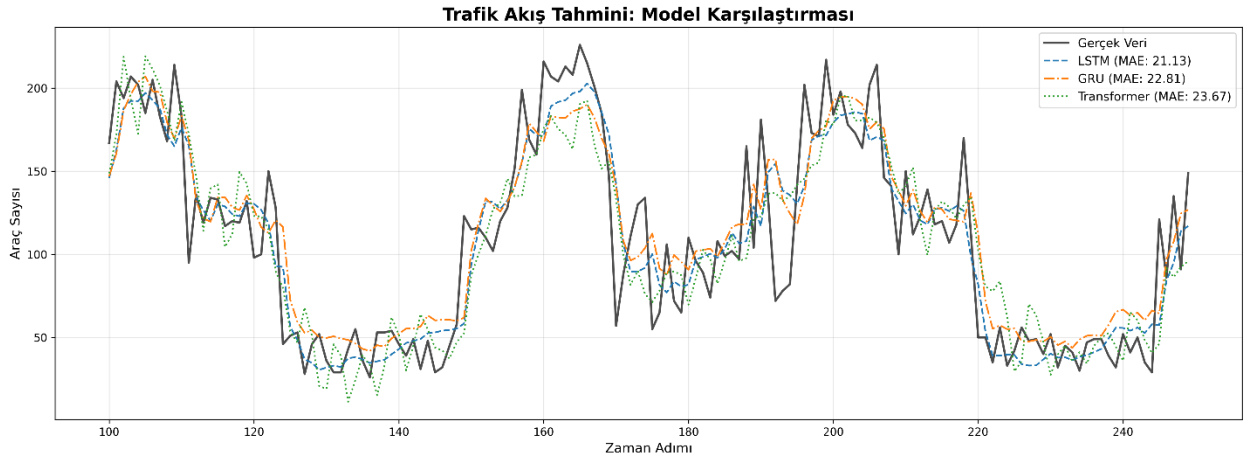
Kaggle "Traffic Prediction Dataset" üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, LSTM, GRU ve Transformer modellerinin 12 zaman adımı (1 saat) geçmiş veriden gelecek tahmini yapma yetenekleri ölçülmüştür. Modellerin performansları, temel bir referans noktası olan Naïve Baseline yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Modellerin Tahmin Performansı Karşılaştırması

Model	MAE	RMSE	MAPE (%)
Naïve (Baseline)	24.59	34.04	26,01
LSTM	21.13	28.29	22.38
GRU	22.81	29.77	27.40
Transformer	23.67	31.25	25.97

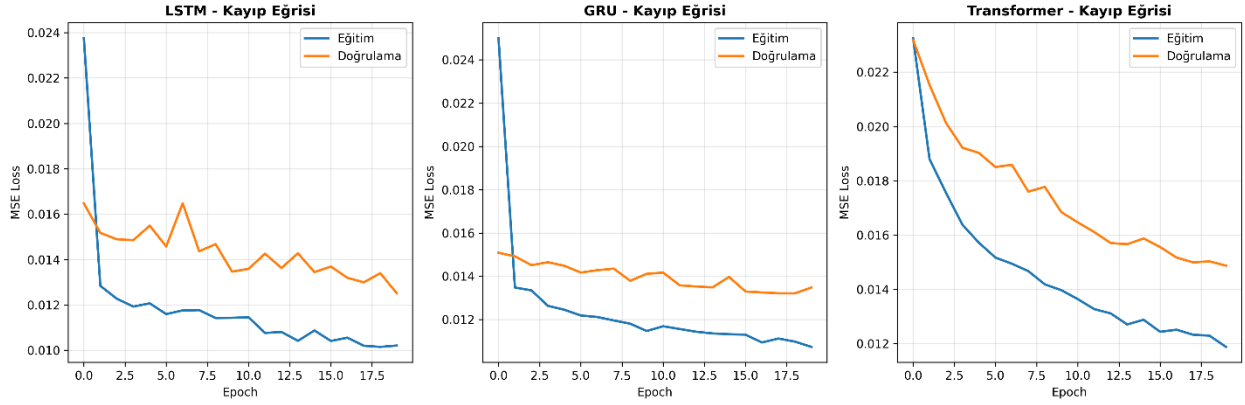
Sonuçlar incelendiğinde, LSTM modelinin 21.13 Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve 28.29 RMSE değerleri ile en düşük hata oranına ulaştığı görülmektedir. Tüm derin öğrenme modellerinin, 24.59 MAE değerine sahip Naïve Baseline modelinden daha iyi performans göstermesi, kurulan mimarilerin trafik verisindeki karmaşık zamansal örüntüleri başarıyla öğrendiğini kanıtlamaktadır.

Modellerin zaman serisi üzerindeki takip yeteneği Görsel 2'de görselleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde, özellikle LSTM ve GRU modellerinin gerçek trafik akışındaki ani yükseliş ve düşüşleri (peak points) Transformer modeline kıyasla daha hassas bir şekilde takip ettiği görülmektedir. Transformer modeli genel trendi yakalamakta başarılı olsa da, kısa vadeli oynaklıklarda tekrarlayan ağların (RNN) ardışık yapısı bu veri seti özelinde daha avantajlı olmuştur. Trend analizinde özellikle yoğunluğun düşük olduğu gece saatleri ile pik saatler arasındaki geçişler, LSTM modeli tarafından kararlı bir şekilde tahmin edilmiştir.

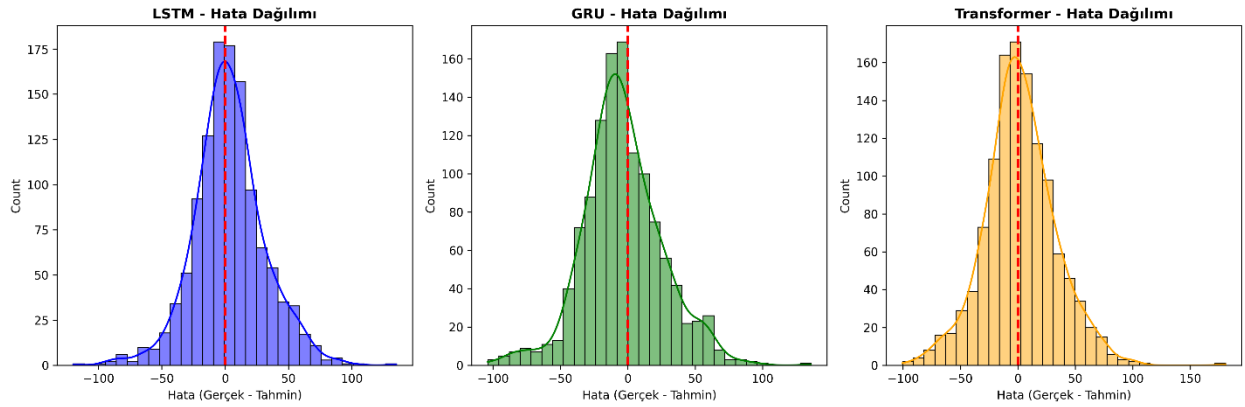


Görsel 2. Gerçek Veri ile Modellerin Tahmin Sonuçlarının Karşılaştırılması.

Eğitim sürecinin kararlılığı ve hata karakteristiği Görsel 3 ve Görsel 4'te analiz edilmiştir. Görsel 3'teki kayıp (loss) eğrileri, modellerin 20 epoch sonunda aşırı öğrenmeye (overfitting) düşmeden kararlı bir şekilde yakınsadığını göstermektedir. Görsel 4'teki hata dağılım histogramı ise tahmin hatalarının sıfır noktası etrafında normal dağılıma yakın bir formda toplandığını göstermektedir. Hataların rassal dağılımı, modellerin yanlılık (bias) içermediğini doğrulamaktadır.

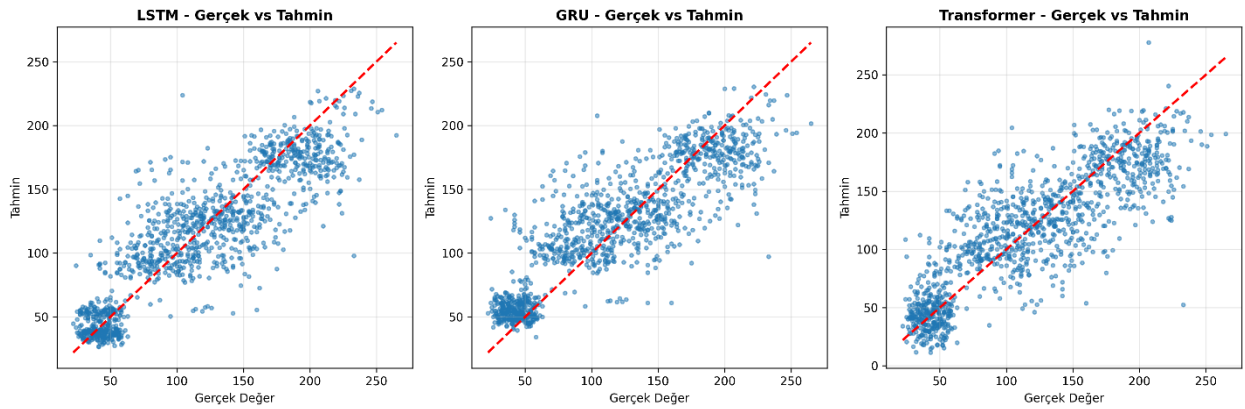


Görsel 3. Modellerin Eğitim ve Doğrulama Kayıp (Loss) Eğrileri.



Görsel 4. Tahmin Hatalarının Dağılım Histogramı.

Son olarak, modelleri karşılaştırdığımızda LSTM modelinin uzun vadeli bağımlılıkları koruma yeteneği (Long Short-Term Memory hücre yapısı sayesinde), GRU ve Transformer modellerine kıyasla daha düşük hata oranları sağlamıştır. Görsel 5'teki saçılım (scatter) analizi de bu durumu desteklemekte olup, LSTM tahminlerinin $y=x$ doğrusu etrafında en dar bantta kümелendiği görülmektedir. Transformer modelinin 23.67 MAE değerine ulaşması, dikkat mekanizmasının genel yapıyı öğrendiğini ancak ince detaylarda LSTM kadar hassas olamadığını göstermektedir.



Görsel 5. Gerçek ve Tahmin Değerleri Saçılım (Scatter) Analizi.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, akıllı ulaşım sistemleri kapsamında kısa vadeli trafik akışı tahmini için LSTM, GRU ve Transformer mimarileri Naïve Baseline yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, derin öğrenme modellerinin trafik verisindeki karmaşık ve doğrusal olmayan örüntüleri yakalamada geleneksel yöntemlerden çok daha başarılı olduğunu kanıtlamıştır.

Bulgulara göre, Bidirectional LSTM modeli 21.13 MAE ve 28.29 RMSE değerleriyle test edilen tüm senaryolarda en yüksek doğruluğu sergilemiştir. GRU (22.81 MAE) ve Transformer (23.67 MAE) modelleri onu takip etmiştir. Tüm modellerin 24.59 MAE değerine sahip baseline yöntemini geride bırakması, zamansal dinamiklerin ve periyodik döngülerin başarıyla öğrenildiğini göstermektedir.

Teorik açıdan, LSTM mimarisinin sahip olduğu hücre yapısı sayesinde ani oynaklıklara ve kısa vadeli değişimlere Transformer yapısına kıyasla daha hassas tepki verdiği görülmüştür. Pratik uygulama açısından bu sonuçlar, şehir içi trafik yönetim merkezlerinde LSTM tabanlı AUS çözümlerinin entegrasyonunun stratejik önemini vurgulamaktadır.

Gelecek çalışmalarda, elde edilen bu zamansal başarının mekansal boyutla birleştirilmesi hedeflenmektedir. Özellikle sensörler arası ilişkileri modelleyen Grafik Sinir Ağları (GNN) ile Transformer mimarilerinin hibrit kullanımı (Graph-Transformer) üzerinden daha geniş tahmin ufuklarında analizler yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Vlahogianni, E. I., Golias, J. C. ve Karlaftis, M. G., Short-term traffic forecasting: Where we are and where we're going, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 43, 3-19, 2014.
- [2] Williams, B. M. ve Hoel, L. A., Modeling and forecasting vehicular traffic flow as a seasonal ARIMA process, *Journal of Transportation Engineering*, 129(6), 664-672, 2003.
- [3] Lv, Y., Duan, Y., Kang, W., Li, Z. ve Wang, F. Y., Traffic flow prediction with big data: A deep learning approach, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(2), 865-873, 2015.
- [4] Hochreiter, S. ve Schmidhuber, J., Long short-term memory, *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780, 1997.
- [5] Ma, X., Tao, Z., Wang, Y., Yu, H. ve Wang, Y., Long short-term memory neural network for traffic speed prediction using remote microwave sensor data, *Transportation Research Part C*, 54, 187-197, 2015.
- [6] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, L. ve Polosukhin, I., Attention is all you need, *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)*, 2017.

- [7] Yu, B., Yin, H. ve Zhu, Z., Spatio-temporal graph convolutional networks, *Proceedings of the 27th IJCAI*, 2018.
- [8] Zhao, L., Song, Y., Zhang, C., Liu, Y., Wang, P., Lin, T., Deng, M. ve Li, H., T-GCN: A temporal graph convolutional network for traffic prediction, *IEEE Transactions on ITS*, 2019.
- [9] Guo, S., Lin, Y., Ning, H., Wan, S. ve Li, H., Attention based spatial-temporal graph convolutional networks for traffic flow forecasting, *AAAI Conference*, 2019.
- [10] Li, Y., Yu, R., Shahabi, C. ve Liu, Y., Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting, *ICLR*, 2018.
- [11] Zheng, C., Fan, X., Wang, C. ve Qi, J., GMAN: A graph multi-attention network for traffic prediction, *AAAI Conference*, 2020.
- [12] Wu, Z., Pan, S., Chen, F., Long, G., Zhang, C. ve Philip, S. Y., Graph wavenet for deep spatial-temporal graph modeling, *IJCAI*, 2019.
- [13] Aman, H., Traffic Prediction Dataset (Two Months), *Kaggle*,
<https://www.kaggle.com/datasets/hasibullahaman/traffic-prediction-dataset> (Erişim tarihi: 25.12.2025).

ENRON VERİ KÜMESİ ÜZERİNDE HİBRİT ÖZELLİK MİMARİSİ İLE E-POSTA ÖNEM SINIFLANDIRMASI

Yüksek Lisans Öğrencisi, Abdulhak ALASULU

Siirt Üniversitesi, aalasulu73@gmail.com - 0009-0004-9227-227X

Dr.Öğr. Üyesi Bashar ALHAJAHMAD

Siirt Üniversitesi, bashar.aptech@gmail.com- 0009-0009-3455-7206

ÖZET

İletişim kanallarının dijitalleşmesiyle birlikte e-postalar hem bireysel hem de kurumsal etkileşimin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Ancak günlük alınan e-posta miktarındaki aşırı artış, bu iletilerin önem düzeyine göre sınıflandırılması ihtiyacını doğurmuştur. Bu çalışma, büyük ölçekli ve gerçek dünya verilerinden oluşan Enron e-posta veri kümesini kullanarak, iletilerin otomatik olarak "Düşük", "Orta" ve "Yüksek" önem seviyelerine ayrılmasını amaçlamaktadır.

Araştırma kapsamında hibrit bir özellik çıkarma yaklaşımı benimsenmiştir. İlk aşamada, BERT (bert-base-uncased) modeli kullanılarak metinlerin anlamsal derinliğini temsil eden 768 boyutlu bağlamsal gömlemeler elde edilmiştir. İkinci aşamada ise kelime sayısı, anahtar kelime yoğunluğu ve yapısal özelliklerden oluşan 10 farklı istatistiksel özellik manuel olarak hesaplanmıştır. Bu iki veri grubunun birleştirilmesiyle oluşturulan 778 boyutlu özellik vektörleri, sınıflandırma modellerinin temelini oluşturmuştur. Veri kümesindeki sınıf dengesizliği problemi SMOTE tekniği ile giderilerek modellerin azınlık sınıfları öğrenme kabiliyeti artırılmıştır.

Performans analizi aşamasında; Random Forest, Gradient Boosting, Lojistik Regresyon, SVM, Karar Ağaçları ve KNN algoritmaları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar ve 5-katlı çapraz doğrulama verileri, Gradient Boosting modelinin %89 doğruluk ve 0.88 F1 skoru ile en başarılı yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Onu %85 başarı oranı ile Random Forest takip etmiştir. Analizler, özellikle "loan", "position" ve "content" gibi finansal ve operasyonel terimlerin önem derecesini belirlemede kritik rol oynadığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, ağaç tabanlı topluluk öğrenme yöntemlerinin karmaşık e-posta verilerini sınıflandırmada doğrusal ve mesafe tabanlı modellere göre çok daha etkin ve güvenilir sonuçlar verdiğini kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: E-posta,Önem Sıralaması,Makine Öğrenmesi,Bert,Metin Madenciliği

1. GİRİŞ

İnsanlık tarihinin her döneminde iletişimi sürdürmek, toplumsal yapının inşası ve devamlılığı için temel bir gereklilik olmuştur. Tarihsel süreçte dumanla haberleşme gibi geleneksel yöntemlerle başlayan bu süreç, internet teknolojilerinin gelişimiyle birlikte köklü bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşümün en önemli unsurlarından biri olan elektronik posta (e-posta), özellikle mobil cihaz kullanımının yaygınlaşması ve bu cihazların kurulum aşamasında bir e-posta adresi gerektirmesiyle birlikte kullanım hacmini artırmıştır.

Günümüzde e-posta; bireysel etkileşimlerin yanı sıra kurumsal iletişim stratejilerinde ve dijital pazarlama faaliyetlerinde merkezi bir rol oynamaktadır. Üyelik sistemleri, e-ticaret platformları ve dijital oyun mecraları gibi geniş bir yelpazede temel kimlik doğrulama aracı olarak kullanılan e-postalar, modern bireyin günlük bilgi akışının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir.

Kiritchenko ve Matwin (2011), tipik bir kullanıcının günlük olarak 40-50 e-posta aldığını göstermektedir. Popülerliği nedeniyle, e-posta sınıflandırma görevleriyle ilgili farklı araştırma sorunları ortaya çıkmıştır. Bu görevler arasında spam filtreleme, mesajlara öncelik atama ve kullanıcı tarafından belirlenen bir stratejiye göre mesajları klasörlere ayırma yer almaktadır (Klimt ve Yang, 2004).

Son yıllarda, Doğal Dil İşleme (NLP) alanında üstel bir büyüme gözlemlenmektedir. Bu gelişme, temel olarak Sinirsel Dil Modellerinin (Neural Language Models – NLMs) ortaya çıkışıyla ilişkilidir. BERT [1] gibi öncü modellerin yayınlanmasıyla başlayan Transformer tabanlı modellerin tanıtımı, NLP metodolojilerinde yeni bir döneme öncülük etmiştir. Bu ilerlemeler, farklı dillerde ve çeşitli alanlarda gerçekleştirilen çok sayıda görevde elde edilebilen performansı istikrarlı bir şekilde artırmıştır [2,3]. Bu görevler; duygu analizi [4], bilgi çıkarımı [5, 6], anafora ve ortak gönderim (coreference) çözümleme [7, 8, 9] gibi genel amaçlı uygulamalardan, oldukça alan-özgü dikey yaklaşımlara kadar uzanmaktadır [10, 11, 12].

Bununla eş zamanlı olarak, farklı uygulamalara uygun kaynaklar, derlemeler ve kıyaslama veri setleri koleksiyonları [13, 14] da hızla artış göstermiştir. Modellerin giderek artan karmaşıklığı, eğitim süreçlerinde büyük miktarda etiketli veriye duyulan ihtiyacı beraberinde getirmiştir. Metin sınıflandırma, her zaman “klasik” NLP görevleri arasında öncelikli bir konumda yer almış olsa da, bu büyük veri erişilebilirliği sayesinde daha da kritik bir rol üstlenmiştir [15].

NLP alanında metin sınıflandırma genellikle şu şekilde biçimlendirilir: büyük ölçekli metinsel girdilerin, önceden belirlenmiş kategori veya sınıflara otomatik olarak atanması ve düzenlenmesi. Bu amaçla, bir algoritma; etiketlenmiş örneklerden ve bu örneklerle önceden atanmış sınıf etiketlerinden oluşan bir veri kümesi üzerinde eğitilerek metin sınıflandırma veya kategorilendirme işlemini gerçekleştirir.

Çalışmamızda kullandığınız enron veriseti ile ilgili yapılan çalışmalar.Enron metinleri kamuya açık hale getirildiğinden beri, birçok araştırmacı farklı görevlerle Enron metinleri üzerinde çalışmıştır. Jabbari ve diğerlerinin (2006) çalışmasıdır. Bu çalışma, elle etiketlenmiş

çok sayıda e-postayı yayınlamış ve 12.000'den fazla Enron e- postasını iki ana kategoriye ayırmıştır: "İş" ve "Kişisel" ve ardından "Temel İş" ve "Yakın Kişisel" alt kategorilerine ayırmışlardır. Bu alt kategoriler, sırasıyla iki ana kategoriye temsil etmektedir. "Temel İş" kategorisinde 4.500'den fazla e-posta bulunurken, "Yakın Kişisel" kategorisinde 1.800'den fazla e-posta bulunmaktadır.

Agarwal ve ark. (2012), Enron güç hiyerarşisinin altın standardını yayınladı ve e-posta alışveriş ağının derece merkezietini kullanarak iki çalışan arasındaki hakimiyet ilişkilerini tahmin etti. Enron korpusunun bu altın standardını, MongoDB veritabanı olarak iş parçacığı yapısı ile yayınladılar. Hardin ve ark. (2014), altı sosyal ağ merkezi ölçüsü ile Enron çalışanlarının hiyerarşik sıralaması arasındaki ilişkiyi incelemektedir.

Mitra ve Gilbert (2013), Enron korpusundaki dedikoduları incelemiştir. Jabbari ve diğerleri (2006) tarafından iş ve kişisel e-postalardaki dedikodu oranını incelemek için kullanılan veri setini kullanmışlar ve dedikoduların hem kişisel hem de iş e-postalarında ve organizasyonel hiyerarşinin tüm kademelerinde ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. (2006) tarafından kullanılan veri setini kullanarak iş ve kişisel e-postalardaki dedikodu oranını incelemişler ve dedikodunun hem kişisel hem de iş e-postalarında ve organizasyonel hiyerarşinin tüm kademelerinde ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. E-postalardaki kişi isimlerini etiketlemek için bir NER sınıflandırıcısı kullanmışlar ve alıcı listesinde veya gönderen listesinde yer almayan bir kişiden bahseden e-postaları dedikodu olarak sınıflandırmışlardır.

Bu çalışmada, Enron e-posta veri seti kullanılarak e-postaların önem düzeyine göre otomatik olarak sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında, metin ön işleme adımları uygulanarak veri temizleme ve özellik çıkarımı gerçekleştirilmiş, ardından geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları (Random Forest, Gradient Boosting, Logistic Regression, SVM, Decision Tree ve KNN) ile derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Modellerin performansı doğruluk, F1 skoru, kesinlik (precision) ve duyarlılık (recall) gibi metrikler kullanılarak analiz edilmiştir. Ayrıca, çapraz doğrulama yöntemi ile elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak karşılaştırılarak en başarılı model belirlenmiştir. Bu sayede, e-posta önceliklendirme problemine yönelik etkin ve güvenilir bir sınıflandırma sistemi geliştirilmesi hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Bu aşamada veri kümesi ve kullanılan yöntemler ele alınmıştır.

2.1 Veri Kümesi

Bu çalışmada, Enron e-posta veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi, gerçek kurumsal e-posta yazışmalarını içermekte olup, her bir e-posta dosya yolu ve içerik bilgisi olacak şekilde yapılandırılmıştır. Ham veriler, Enron formatındaki CSV dosyalarından özel olarak geliştirilen bir ayrıştırma fonksiyonu yardımıyla okunmuş ve pandas veri çerçevesi yapısına dönüştürülmüştür. Böylece her bir e-posta ayrı bir gözlem olarak temsil edilmiştir.

2.2 Veri Ön İşleme

Ön işleme aşamasında e-postalardan anlam taşımayan başlık bilgileri (Message-ID, Date, From, To, Subject vb.) düzenli ifadeler kullanılarak temizlenmiştir. Ayrıca e-posta adresleri, özel karakterler ve gereksiz boşluklar metinden kaldırılmıştır. Metinler küçük harfe dönüştürülerek normalize edilmiş ve model eğitimi için uygun hale getirilmiştir. Bu adımlar sayesinde gürültülü veriler azaltılmış ve metinlerin anlamsal yapısı korunmuştur.

2.3 Özellik Çıkarımı

Özellik çıkarımı iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, önceden eğitilmiş **BERT (bert-base-uncased)** modeli kullanılarak her e-posta için 768 boyutlu bağlamsal metin gömlemesi elde edilmiştir. Bu sayede e-postaların anlamsal içeriği derin öğrenme tabanlı vektör temsillerle modellenmiştir.

İkinci aşamada manuel özellik mühendisliği uygulanmıştır. Bu kapsamda; kelime sayısı, karakter sayısı, ortalama kelime uzunluğu, önemli anahtar kelime sayısı, büyük harf oranı, sayısal karakter varlığı, ünlem ve soru işareti kullanımı, benzersiz kelime oranı ve stop-word oranı olmak üzere toplam 10 adet istatistiksel özellik çıkarılmıştır. Elde edilen manuel özellikler, BERT gömlemeleri ile birleştirilerek her örnek için toplam **778 boyutlu** nihai özellik vektörü oluşturulmuştur.

2.4 Etiketleme Stratejisi

Etiketleme işlemi kural tabanlı otomatik yöntemle gerçekleştirilmiştir. E-posta içeriklerinde belirlenen önem anahtar kelimelerinin varlığı, metin uzunluğu ve yapısal özellikler dikkate alınarak her e-postaya bir skor atanmıştır. Bu skora göre e-postalar üç sınıfa ayrılmıştır: **Düşük**, **Orta** ve **Yüksek** önem seviyeleri. Bu yaklaşım, manuel etiketleme gereksinimini azaltarak büyük veri üzerinde hızlı sınıflandırma imkânı sağlamıştır.

2.5 Eğitim ve Test Ayrımı

Veri kümesi %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde tabakalı örnekleme (stratified sampling) yöntemi ile bölünmüştür. Böylece her sınıfın eğitim ve test kümelerinde dengeli şekilde temsil edilmesi sağlanmıştır. Özellikler standartlaştırılarak modeller için uygun ölçeğe getirilmiştir.

2.6 Sınıf Dengesizliği Probleminin Giderilmesi

Veri kümesinde sınıf dağılımının dengesiz olması nedeniyle eğitim verisi üzerinde **SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique)** yöntemi uygulanmıştır. Bu teknik ile az temsil edilen sınıflar için sentetik örnekler üretilmiş ve sınıf dağılımı dengelenmiştir. Böylece modellerin azınlık sınıfları öğrenme kabiliyeti artırılmıştır.

2.7 Makine Öğrenmesi Modelleri

Çalışmada farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak karşılaştırmalı performans analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Random Forest, Gradient Boosting, Logistic Regression, Destek Vektör Makineleri (SVM), Decision Tree ve K-En Yakın Komşu (KNN) modelleri eğitilmiştir. Tüm modeller aynı eğitim verisi üzerinde eğitilmiş ve test verisi üzerinde değerlendirilmiştir.

Random Forest

2.8 Performans Değerlendirme

Modellerin başarımı doğruluk (accuracy), dengeli doğruluk (balanced accuracy), makro ve ağırlıklı precision, recall ve F1-score metrikleri ile değerlendirilmiştir. Her model için karmaşıklık matrisi (confusion matrix) oluşturularak sınıf bazlı performans detaylı şekilde incelenmiştir.

2.9 Çapraz Doğrulama

Model sonuçlarının genellenebilirliğini değerlendirmek amacıyla tüm modeller üzerinde **5-katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation)** uygulanmıştır. Bu süreçte her model için makro F1-skorları hesaplanmış ve ortalama performans değerleri raporlanmıştır.

2.10 Görselleştirme

Sonuçların yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla karmaşıklık matrisleri, model performans karşılaştırma grafikleri ve sınıf bazlı metrik şekilleri oluşturulmuştur. Tüm grafikler yüksek çözünürlüklü olarak kaydedilmiş ve değerlendirme sürecinde kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

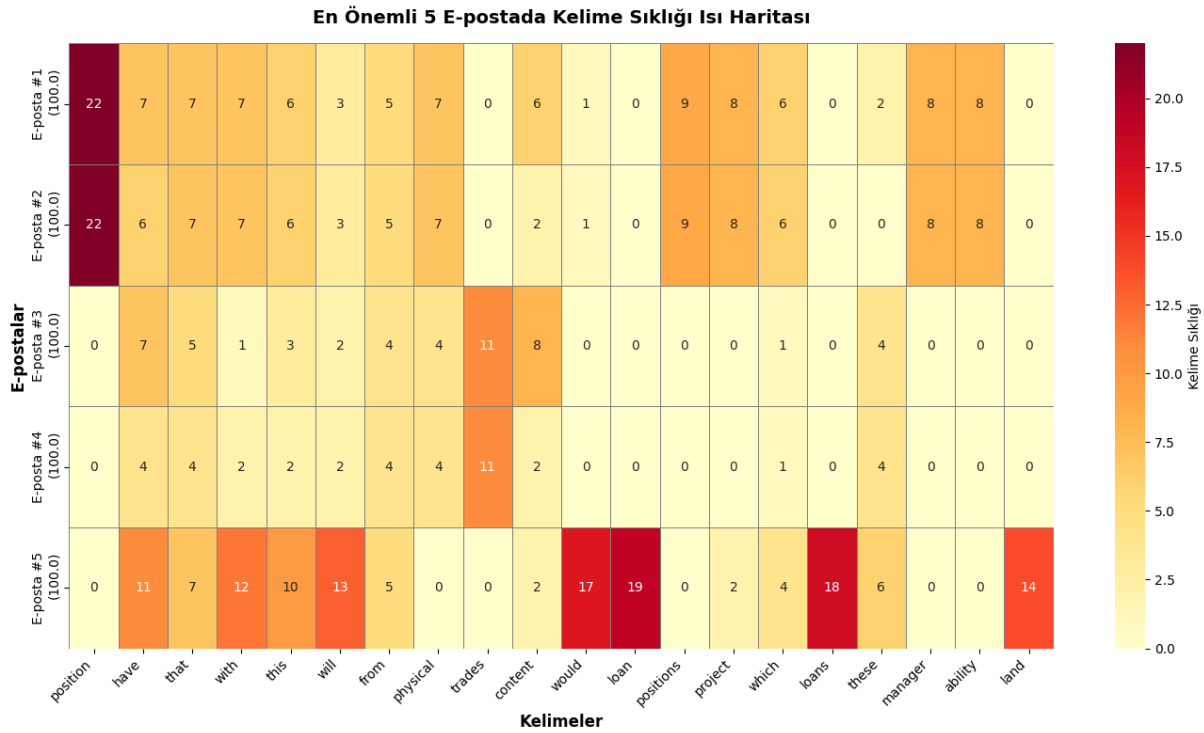
Çizelge 1’de, e-posta önem sınıflandırması için kullanılan farklı makine öğrenmesi modellerinin performans sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 1. Model Performans Verileri (%)

Model Adı	F1 Skoru	Accuracy	Recall	Precision
Random Forest	0,85	0,85	0,85	0,85
Gradient Boosting	0,88	0,89	0,88	0,89
Logistic Regression	0,77	0,78	0,77	0,77
SVM	0,76	0,77	0,76	0,76
Decision Tree	0,81	0,83	0,81	0,81
KNN	0,64	0,64	0,65	0,66

Çizelge 1 incelendiğinde, Gradient Boosting modeli tüm değerlendirme metriklerinde (F1=0.88, Accuracy=0.89, Recall=0.88, Precision=0.89) en yüksek değerleri elde ederek en başarılı yöntem olmuştur. Bu durum, modelin e-posta içeriklerinden önemli ve önemsiz mesajları ayırt etmede güçlü bir genelleme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Random Forest modeli ise tüm metriklerde yaklaşık %85 başarı oranı ile ikinci en iyi performansı sergilemiş ve dengeli sonuçlar üretmiştir. Ensemble yapısı sayesinde aşırı öğrenmeye karşı dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Decision Tree modeli, tek ağaç yapısına rağmen F1 skoru 0.81 ile kabul edilebilir bir performans sunmuş, ancak topluluk tabanlı modellere kıyasla daha düşük başarı göstermiştir. Logistic Regression ve SVM modelleri orta düzey performans sergilemiş (F1 $\approx$ 0.76–0.77) olup, doğrusal karar sınırlarının karmaşık e-posta verileri için sınırlı kaldığı anlaşılmaktadır. KNN modeli ise en düşük performansı (F1=0.64) göstermiştir; bu durum, mesafe tabanlı yaklaşımın yüksek boyutlu metin verilerinde yeterince etkili olmadığını ortaya koymaktadır. Genel olarak, Çizelge 1’de sunulan sonuçlar, e-posta önem sıralama problemi için Gradient Boosting ve Random Forest modellerinin en uygun yöntemler olduğunu göstermektedir.

Görsel 1’de, en önemli olarak sınıflandırılan beş e-postada yer alan kelimelerin kullanım sıklıkları ısı haritası ile gösterilmektedir.

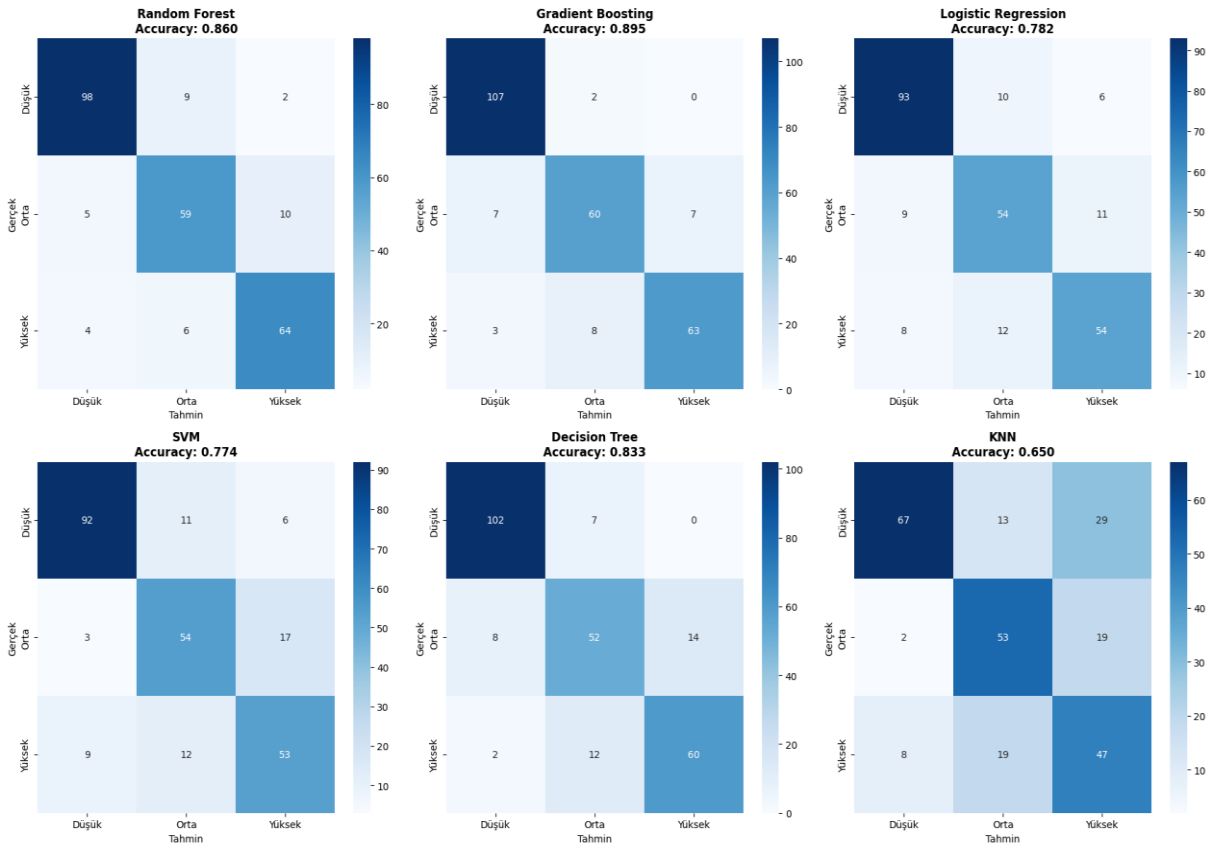


Görsel 1. Kelime Sıklığı Isı Haritası

Görsel incelendiğinde, özellikle “position”, “loan”, “loans”, “land” ve “content” gibi kelimeler bazı e-postalarda yüksek frekans değerlerine sahiptir. Bu durum, söz konusu kelimelerin finansal işlemler, görev tanımları ve resmi yazışmalarla ilişkili olduğunu ve model tarafından e-postaların önem derecesini belirlemede ayırt edici özellikler olarak kullanıldığını göstermektedir. Özellikle beşinci e-

postada “would”, “loan” ve “loans” kelimelerinin yüksek sıklıkta görülmesi, bu mesajın içerik açısından kritik bir talep veya işlem içerdiğine işaret etmektedir. Genel olarak Görsel 1, önemli e-postalarda belirli anahtar kelimelerin yoğunlaştığını ve kelime dağılımının modelin karar sürecine anlamlı katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Görsel 2’de, farklı makine öğrenmesi modellerine ait karışıklık matrisleri yer almaktadır.



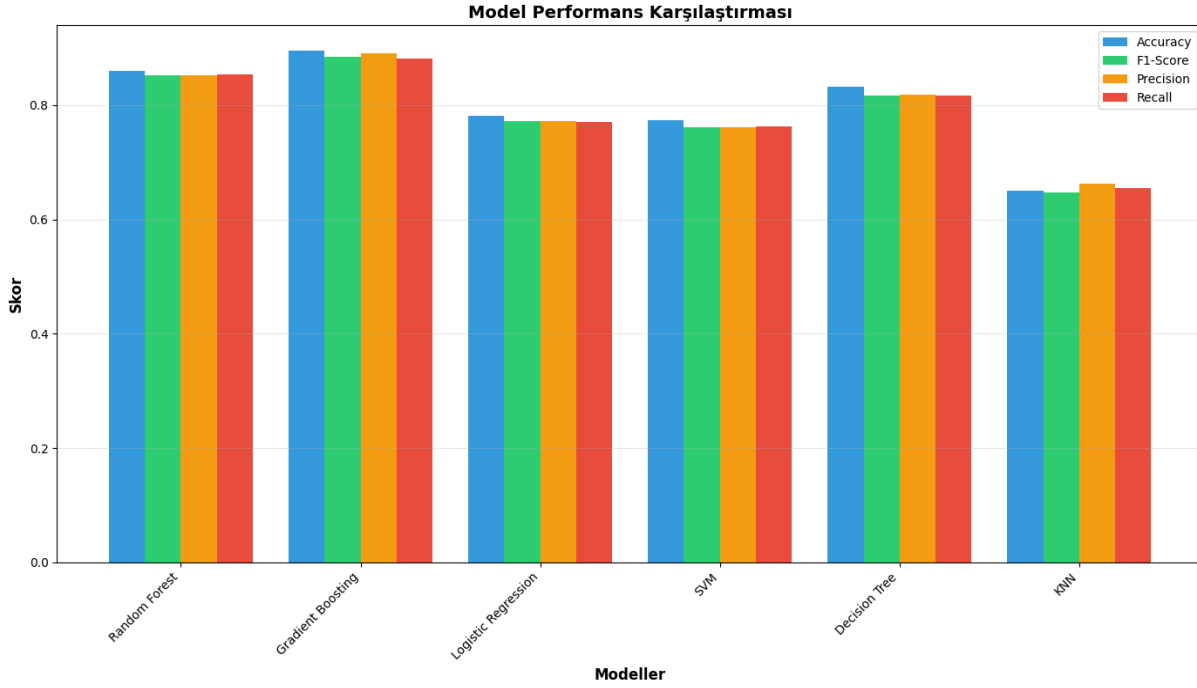
Görsel 2. Tüm Modellerin Karışıklık Matrisleri

Görsel incelendiğinde, Gradient Boosting ve Random Forest modellerinin diyagonal hücrelerde (doğru sınıflandırmalar) daha yoğun değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, özellikle düşük, orta ve yüksek önem sınıflarının daha net ayrıştırıldığını göstermektedir. Decision Tree modelinde de benzer bir eğilim gözlemlense de, bazı sınıflar arasında karışmaların arttığı dikkat çekmektedir.

Buna karşılık, Logistic Regression ve SVM modellerinde sınıflar arası hatalı tahminlerin daha yaygın olduğu görülmektedir. Özellikle orta önem sınıfının hem düşük hem de yüksek sınıflarla karıştırıldığı hücrelerde yoğunluk artmıştır. KNN modelinde ise karışıklık belirgin şekilde fazladır; özellikle düşük önem sınıfının orta ve yüksek sınıflarla sıkça karıştırıldığı gözlemlenmektedir.

Genel olarak Görsel 2, ensemble tabanlı modellerin sınıfları daha net ayırt edebildiğini, tekil ve mesafe tabanlı modellerde ise sınıf örtüşmelerinin daha fazla olduğunu ortaya koymaktadır

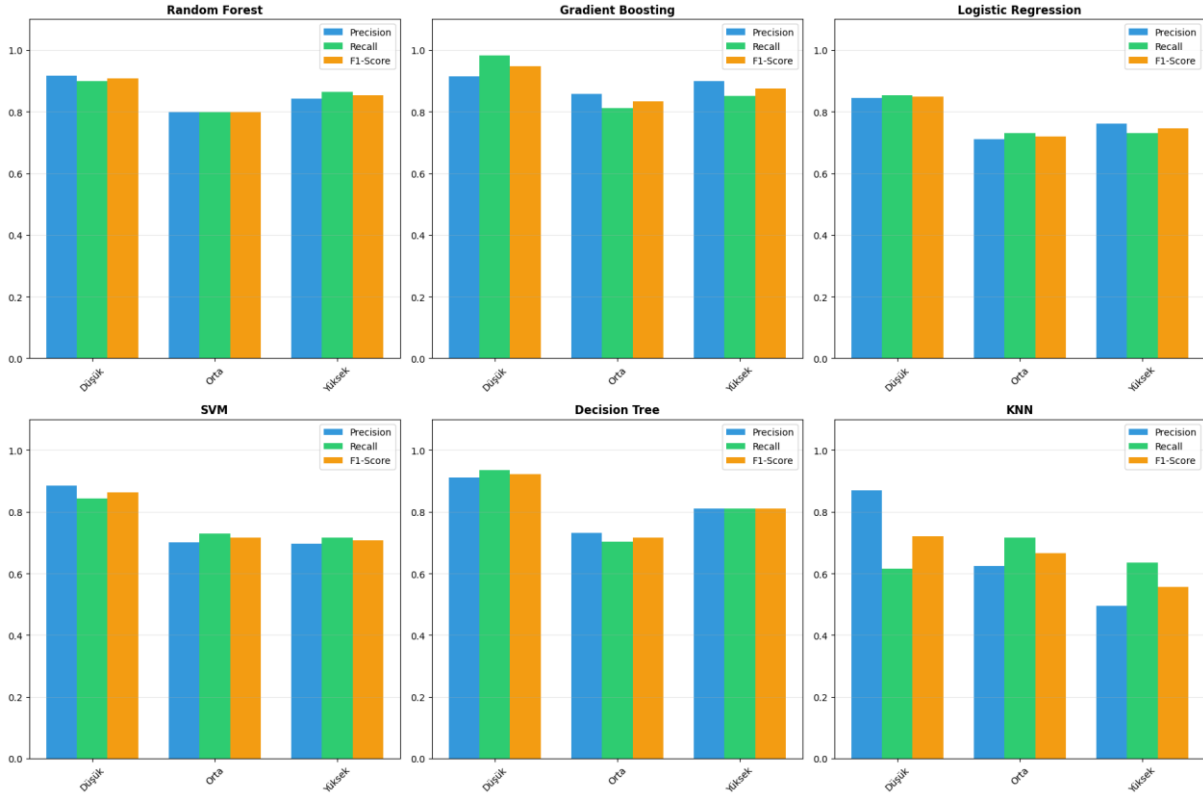
Görsel 3'te, farklı makine öğrenmesi modellerinin Accuracy, F1-Score, Precision ve Recall metriklerine göre karşılaştırmalı performansları çubuk grafik şeklinde sunulmaktadır.



Görsel 3. Modellerin Performans Karşılaştırması Grafiği

Görsel 3 incelendiğinde, Gradient Boosting ve Random Forest modellerinin tüm metriklerde diğer modellere kıyasla daha yüksek ve dengeli skorlar elde ettiği görülmektedir. Decision Tree modeli orta seviyede bir performans sergilerken, Logistic Regression ve SVM modellerinin skorlarının daha düşük olduğu dikkat çekmektedir. KNN modeli ise tüm metriklerde en düşük değerlere sahip olup, diğer yöntemlere kıyasla daha zayıf bir performans göstermektedir.

Modellerin düşük, orta ve yüksek öncelik sınıflarındaki precision, recall ve F1-skor performansları Görsel 4'te gösterilmektedir.



Görsel 4. Modellerin Sınıflar Üzerindeki Karşılaştırmalı Sonuçları

Görsel 4 incelendiğinde, tüm modeller için düşük, orta ve yüksek öncelik sınıflarında precision, recall ve F1-skor değerlerinin karşılaştırmalı olarak sunulduğu görülmektedir. Gradient Boosting ve Random Forest modelleri tüm sınıflarda yüksek ve dengeli performans sergileyerek en başarılı modeller olarak öne çıkmaktadır. Decision Tree modeli özellikle düşük öncelik sınıfında güçlü sonuçlar üretirken, orta sınıfta görece düşüş göstermektedir. Logistic Regression ve SVM modellerinde orta ve yüksek sınıflarda performansın azaldığı gözlemlenmektedir. KNN modeli ise özellikle yüksek öncelik sınıfında belirgin performans kaybı yaşayarak en zayıf sonuçları üretmiştir. Bu durum, ağaç tabanlı topluluk yöntemlerinin e-posta öncelik sınıflandırmasında daha etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. 5-Fold Çapraz Doğrulama Verileri (%)

Random Forest	(0.8422 (+/- 0.0244))
Gradient Boosting	(0.8935 (+/- 0.0233))
Logistic Regression	(0.8223 (+/- 0.0238))
SVM	(0.2806 (+/- 0.1654))
Decision Tree	(0.8499 (+/- 0.0265))
KNN	(0.6830 (+/- 0.0194))

Çizelge 2’de sunulan 5-Fold çapraz doğrulama sonuçları incelendiğinde, en yüksek ortalama başarıyı Gradient Boosting modeli (0.8935 ± 0.0233) göstermektedir. Bu durum, modelin farklı

veri bölünmelerinde istikrarlı ve güçlü bir genelleme performansına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Decision Tree (0.8499 ± 0.0265) ve Random Forest (0.8422 ± 0.0244) modelleri de yüksek ve dengeli sonuçlar üretmiştir. Logistic Regression modeli orta düzeyde bir performans sergilerken (0.8223 ± 0.0238), KNN modeli görece daha düşük başarıya sahiptir (0.6830 ± 0.0194). En zayıf performans ise yüksek varyans değeriyle birlikte SVM modelinde görülmüştür (0.2806 ± 0.1654); bu durum modelin veri bölünmelerine karşı kararsız olduğunu göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Enron e-posta veri seti kullanılarak e-postaların önem düzeylerine göre otomatik olarak sınıflandırılması hedeflenmiştir. Hibrit özellik çıkarım yaklaşımı sayesinde BERT tabanlı anlamsal gömlemeler ile manuel istatistiksel özellikler bir araya getirilmiş ve modellerin karar verme kabiliyeti güçlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde, özellikle Gradient Boosting ve Random Forest modellerinin yüksek doğruluk ve F1-skoru değerleri ile diğer yöntemlere kıyasla daha başarılı olduğu görülmüştür. Çapraz doğrulama sonuçları da bu iki modelin istikrarlı ve güvenilir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, ağaç tabanlı topluluk öğrenme yöntemlerinin yüksek boyutlu ve karmaşık metin verilerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. Bu kapsamda geliştirilen sistem, e-posta önceliklendirme problemine yönelik pratik ve uygulanabilir bir çözüm sunmakta olup, gerçek dünya senaryolarında kullanıcıların e-posta yönetimini kolaylaştırabilecek potansiyele sahiptir.

Gelecek çalışmalarda, kullanılan veri kümesi farklı kurumsal e-posta koleksiyonları ile genişletilerek modelin genellenebilirliği artırılabilir. Ayrıca, etiketleme sürecinde kural tabanlı yaklaşım yerine uzman etiketli veri kullanılarak daha güvenilir sınıflar oluşturulabilir. Derin öğrenme tabanlı modeller (LSTM, GRU, Transformer) doğrudan ham metinler üzerinde eğitilerek klasik makine öğrenmesi yöntemleriyle karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Bunun yanında, model açıklanabilirliğini artırmak amacıyla SHAP ve LIME gibi yöntemler entegre edilerek hangi kelime ve özelliklerin karar sürecinde etkili olduğu detaylı biçimde incelenebilir. Son olarak, geliştirilen sistemin gerçek zamanlı çalışan bir e-posta istemcisine entegre edilmesiyle pratik kullanım senaryoları test edilebilir ve kullanıcı geri bildirimlerine dayalı iyileştirmeler gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., Toutanova, K. (2018). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. Proceedings of NAACL-HLT.
- [2] Guarasci, R., Buonaiuto, G., de-Pietro, G., Esposito, M. (2023). Applying variational quantum classifier on acceptability judgements: a QNLP experiment. Numerical Computations: Theory and Algorithms NUMTA 2023, pp. 116.

- [3] Guarasci, R., de-Pietro, G., Esposito, M. (2022). Quantum natural language processing: Challenges and opportunities. *Applied Sciences (Switzerland)*, Vol. 12, No. 11. DOI: 10.3390/app12115651.
- [4] Li, W., Zhu, L., Shi, Y., Guo, K., Cambria, E. (2020). User reviews: Sentiment analysis using lexicon integrated two-channel CNN-LSTM family models. *Applied Soft Computing*, Vol. 94, pp. 106435. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106435.
- [5] Mukund, S., Srihari, R., Peterson, E. (2010). An information-extraction system for urdu—a resource-poor language. *ACM Transactions on Asian Language Information Processing*, Vol. 9, No. 4, pp. 1–43. DOI: 10.1145/1838
- [6] Guarasci, R., Damiano, E., Minutolo, A., Esposito, M., de-Pietro, G. (2020). Lexicon-grammar based open information extraction from natural language sentences in italian. *Expert Systems with Applications*, Vol. 143. DOI: 10.1016/j.eswa.2019.112954. 751.183875.
- [7] Minutolo, A., Guarasci, R., Damiano, E., de-Pietro, G., Fujita, H., Esposito, M. (2022). A multi-level methodology for the automated translation of a coreference resolution dataset: an application to the italian language. *Neural Computing and Applications*, Vol. 34, No. 24, pp. 22493–22518. DOI: 10.1007/s00521-022-07641-3.
- [8] Sukthanker, R., Poria, S., Cambria, E., Thirunavukarasu, R. (2020). Anaphora and coreference resolution: A review. *Information Fusion*, Vol. 59, pp. 139–162. DOI: 10.1016/j.inffus.2020.01.010.
- [9] Guarasci, R., Minutolo, A., Damiano, E., de-Pietro, G., Fujita, H., Esposito, M. (2021). Electra for neural coreference resolution in italian. *IEEE Access*, Vol. 9, pp. 115643–115654. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3105278.
- [10] Trotta, D., Stingo, M., Guarasci, R., Elia, A., Albanese, T. (2018). Multi-word expressions in spoken language: Polisdic. *Computational Linguistics*, Vol. 2253.
- [11] Gupta, A., Furniturewala, S., Kumari, V., Sharma, Y. (2023). Steno AI at SemEval-2023 task 6: Rhetorical role labelling of legal documents using transformers and graph neural networks. *Proceedings of the 17th International Workshop on Semantic Evaluation (SemEval-2023)*, pp. 1858–1862. DOI: 10.18653/v1/2023.semeval-1.256.
- [12] Maisto, A., Guarasci, R. (2016). Morpheme-based recognition and translation of medical terms. *Communications in Computer and Information Science*, Vol. 607, pp. 172–181. DOI: 10.1007/978-3-319-42471-2_15.
- [13] Bonetti, F., Leonardelli, E., Trotta, D., Guarasci, R., Tonelli, S. (2022). Work hard, play hard: Collecting acceptability annotations through a 3D game. *2022 Language Resources and Evaluation Conference*, pp. 1740–1750.
- [14] Polignano, M., Basile, P., Degemmis, M., Semeraro, G., Basile, V. (2019). ALBERTo: Italian bert language understanding model for NLP challenging tasks based on tweets. *CEUR Workshop Proceedings*, Vol. 2481, pp. 1–6.
- [15] Kowsari, K., Jafari-Meimandi, K., Heidarysafa, M., Mendu, S., Barnes, L., Brown, D. (2019). Text classification algorithms: A survey. *Information*, Vol. 10, No. 4, pp. 150.

DEEP LEARNING ARCHITECTURE FOR ENTITY MATCHING OF BANK TRANSACTIONS AND INVOICE LINES

Murat Öz

Intecon Information Technology and Consulting, R&D Department,
murat.oz@intecon.com.tr - 0009-0001-5660-6701

Barış Deveci

Intecon Information Technology and Consulting, R&D Department,
baris.deveci@intecon.com.tr - 0009-0001-7316-2049

Abstract

In the financial operations of large-scale enterprises, the "procure-to-pay" (P2P) process is one of the most critical and resource-intensive stages of supply chain management. In this process, entity matching (EM) between bank payment transactions and invoice lines within Enterprise Resource Planning (ERP) systems is essential for ensuring financial reconciliation and preventing duplicate payments. However, manually matching unstructured text in bank transaction notes with data in invoice headers (Invoice Date, Customer ID, Amount, Currency) creates a bottleneck involving high operational costs and significant error margins. Traditional rule-based systems and simple string similarity methods fall short in the face of typos, OCR (Optical Character Recognition) noise, abbreviations, and semantic variations (e.g., differences between "739mL" and "0.739L").

This study proposes an innovative deep learning architecture consisting of a combination of Convolutional Neural Networks (CNN) and Fully Connected Networks (FCN) to process multi-modal financial data. The proposed model standardizes structured numerical data using normalization techniques while converting textual descriptions into semantic vectors through BERT-based embedding techniques, exhibiting a high level of language understanding capability. Tests conducted on real-world ERP datasets confirm that the model outperforms traditional methods, particularly in "dirty" and noisy data, providing speed and cost advantages in financial transactions by minimizing manual workload.

Keywords : Entity Matching, Deep Learning, CNN (Convolutional Neural Network)

1. INTRODUCTION

In today's business world, accelerating digitalization necessitates integrating financial information from independent data sources into a common reference point, which is critical for increasing operational efficiency. At the heart of financial systems lies the "procure-to-pay" (P2P) process, which begins with a request for goods or services, moves to an approved purchase order (PO) sent to the supplier, and concludes with the bank payment of the

corresponding invoice. (Dijk, 2023) The most critical control point in this cycle is the financial reconciliation achieved by matching the payment data from the bank (Transaction Line) with the correct invoice information in the ERP system (Invoice Header).

This process, defined as Entity Matching (EM), has reached a scale that can no longer be managed by human power alone, especially in scenarios where giant corporations like IBM process more than 50 million invoices per year. On average, it takes an expert 4 to 5 minutes to manually process a single invoice, resulting in thousands of hours of labor loss and high operational costs every day for large enterprises. The technical challenges encountered are diverse: fields such as CustomerId or Description in bank receipts often do not align perfectly with InvoiceCustomerId or InvoiceDate in ERP records. Furthermore, character errors resulting from OCR (Optical Character Recognition) systems, varying date formats, and abbreviations in customer names necessitate the capture of Semantic Textual Description Similarity (STDS).

Traditional sequential approaches, such as Levenshtein or Jaccard similarity, are insufficient for learning hidden data structures and contextual relationships. In contrast, Deep Learning (DL) has revolutionized this field through its ability to perform automatic feature extraction from raw pixels or text sequences without the need for manual feature engineering.

The model developed within the scope of this article processes structured header data (e.g., InvoiceAmount, InvoiceCurrencyCode) and unstructured bank transaction descriptions through a hierarchical deep learning engine. The primary objective of this study is to offer a scalable financial reconciliation system that filters out low-confidence matches for manual review while automatically approving high-confidence matches.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Background

Recent advancements in Entity Matching (EM) and Entity Linking (EL) focus on addressing core challenges such as ambiguous mentions, noise in datasets, and structural complexity. This process is defined as identifying records from different data sources that refer to the same real-world entity. As noted in the comprehensive survey by Barlaug and Gulla (2021), poor data quality (typos, OCR noise) and class imbalance (an ocean of negative examples) are the most critical factors complicating EM processes. Unlike traditional rule-based or simple string similarity methods, modern deep learning approaches stand out for their ability to automatically learn hidden structures in data and eliminate the need for manual feature engineering.

From a technical perspective, Reinforcement Learning-based models (Fang, 2019) and Transformer-based architectures (Wang, 2022) have provided significant improvements in this field. Specifically, pre-trained language models (LMs) such as BERT and RoBERTa exhibit high resistance to semantic heterogeneity by producing contextual embeddings where the meaning of words depends on their context. For instance, systems like Ditto successfully normalize both structured and unstructured data using these models and can distinguish

homonymous expressions such as "Sharp TV" and "Sharp Resolution" based on context. Furthermore, Large Language Models (LLMs) examined by Peeters (2023) have set a new standard in EM problems by offering robust generalization capabilities (zero-shot performance) against unseen data.

Frameworks such as graph-based approaches (Krivosheev, 2021) and ERBlox (Bahmani, 2017) increase matching accuracy by integrating semantic knowledge with machine learning to model relationships between entities. Similarly, hybrid deep learning designs presented by Mudgal (2018) emphasize the advantages of sequence modeling and attention mechanisms, particularly in unstructured and "dirty" (dirty) datasets. Practical applications of these techniques span a wide range from automated invoice matching (Maurya, 2020) to information extraction from complex business documents (Holeček, 2023).

To manage the computational costs encountered in large-scale datasets, the number of candidate pairs is effectively reduced using blocking techniques such as AutoBlock and Locality Sensitive Hashing (LSH) methods. Additionally, to minimize the need for labeled data, algorithms such as Active Learning and ALWUS optimize the effort of human experts by 1 to 2 orders of magnitude by identifying the samples the system is most uncertain about. To further enhance matching accuracy, semantic integrity constraints emphasized by Shen (2005) can be integrated into the model's decision mechanism, enabling the application of hard rules such as "if the total amounts of two invoices are different, they cannot be a match". Future research focuses on the deeper integration of domain-specific knowledge into deep learning architectures, improving computational efficiency, and making EM processes more interpretable for real-world scenarios.

2.2. Dataset

This dataset can be used for the AI model to match invoice lines with orders in the Enterprise Resource Planning (ERP) software system. In order for the model to work correctly and efficiently, it is important to correctly describe the various options and fields. Below are the definitions of those included in this dataset that play a critical role in training the model. Each field will be used to check the accuracy of invoices and orders, ensure their matching, and prevent data integrity failure. These fields will be processed by the model as basic data points for matching invoices with orders in the ERP system.

- **Item Code:** This field represents an item number that is found on both the invoice lines and the incoming order records of the ERP process. This number, which serves as a unique ID for each product type, is recorded in both text (string) and digital data formats and is a key data point for correctly matching invoice and order records.
- **Unit:** This field describes the unit of material (e.g., piece, kg) and can contain both text and numeric values. This information is critical to understanding the quantity and type of product.
- **Receipt No:** It represents a unique identification number (ID) of orders on the ERP side. This field consists of numbers only and can represent multiple order lines that can be matched to an invoice.
- **Curr (Currency):** This field indicates the currency used in invoices and purchase orders (POs). It plays an important role in checking the accuracy of invoice and order details.

- **Currate (Exchange Rate):** This field expresses the exchange rates used to convert different currencies to each other. It is an important parameter in checking the accuracy of invoice and order amounts.
- **Quantity:** Indicates the quantity of goods or services included in invoices and POs. It is used to check the accuracy of products and the availability of orders.
- **Amnt (Unit Price):** Represents the unit price information found on invoices and POs. This is a critical data point for accurately calculating the cost of each product or service.
- **Price (Total Price):** This field is obtained by multiplying the Quantity and Amount fields. It is important for calculating the total value of products or services.
- **Invoicematerialdesc (Invoice Material Description):** This field provides the description of the product in the invoice report and is a combination of the product name, specifications, or other descriptions. It is used to ensure that the product details in the invoice file are correctly matched.

2.3. Methodology

The primary objective of this study is to automate the matching process between invoice lines and bank payment transactions to accelerate accounting workflows, reduce operational costs, and minimize human-induced error rates. To achieve this, a deep-learning-based model has been developed that can associate unstructured description text from bank receipts with structured data (date, customer ID, amount) found in invoice headers. The performance of the model has been optimized through a pipeline involving comprehensive data preprocessing, model training, and probabilistic prediction.

2.4. Model Architecture

The proposed deep learning architecture consists of two main components:

1. **Feature Extractor:** This component utilizes a Convolutional Neural Network (CNN) to analyze the complex relationships between two different financial entities (an invoice header and a bank transaction line). The architecture is designed to simultaneously process numerical data, such as InvoiceAmount and bank Amount, alongside textual data like the bank Description. The CNN layers extract robust feature representations by capturing local patterns within the text sequences.
2. **Matching Prediction Mechanism:** The feature vectors derived by the CNN are passed to a fully connected network (FCN) for the final decision-making stage. This network leverages learned weights to evaluate the relative importance of input data points (e.g., date alignment, amount similarity) to calculate a "Matching Probability" for the entity pairs. The decision-making process is structured to automatically approve high-confidence matches while filtering low-confidence pairs for manual review.

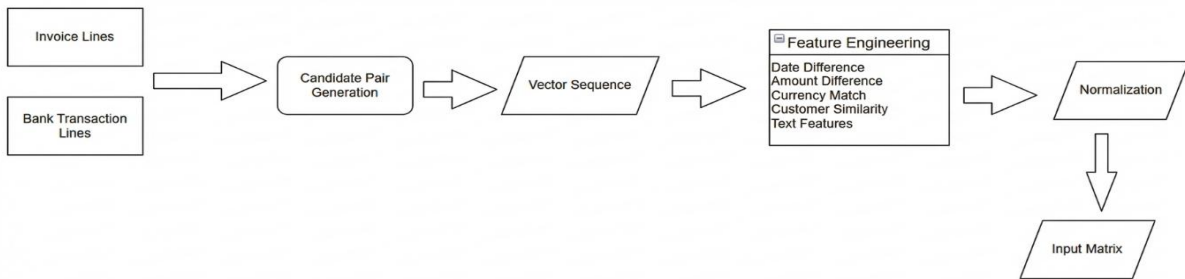


Figure 1. Model Architecture.

Figure 1 visualizes the hierarchical structure of the developed model. The input section includes InvoiceDate, InvoiceCustomerId, InvoiceAmount, and InvoiceCurrencyCode from the invoice side, and CustomerId, TransactionDate, Amount, Currency, and Description from the bank side. These data points are fed into the CNN layers for feature extraction, and the resulting output matrix is transmitted to the FCN, which produces the final Matching Probability. This architecture provides internal resilience against the noise typically found in financial data.

2.5. Data Processing

To improve model accuracy and manage variations in financial data (such as differing currency codes or date formats), a two-stage preprocessing pipeline has been implemented:

- **Numerical Data Processing:** Metrics such as amount and date differences are normalized based on the ratio of the difference between the two compared values. This process utilizes the tanh function, which scales the numerical values into a range of [-1, 1].
- **Textual Data Processing:** Textual fields, specifically bank transaction descriptions, are tokenized and vectorized using a BERT-based tokenizer to preserve semantic and contextual meaning. These vectors are further enriched with positional embeddings to maintain spatial information. Finally, the degree of similarity between these vectors is quantified using Cosine Similarity, which serves as a refined input for the model.

2.6. Integrated System

The system design consists of three consecutive main processes: data preprocessing, model training, and the prediction phase. In the first stage, potential match candidates are generated between bank transaction lines and invoice headers, and the input data (date, customer ID, amount, currency) is prepared to meet the technical requirements of the model. During the model training phase, the system learns matching probabilities using the training dataset and gradually improves prediction accuracy through an iterative learning process. In the final stage, the prediction phase, the trained model calculates matching probabilities for new datasets it has not encountered before. In this process, low-probability matches below the determined threshold are filtered for manual review (human-in-the-loop), while high-probability matches are automatically accepted by the system and directly transferred to the results.

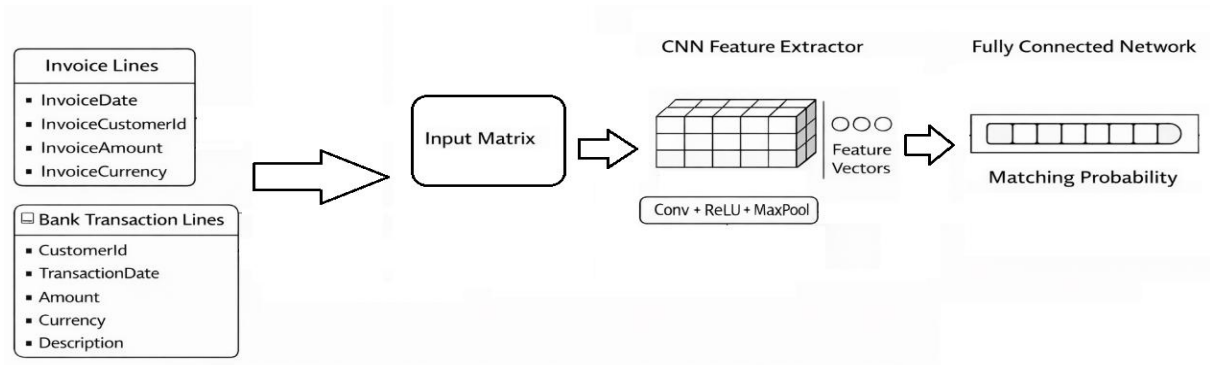


Figure 3: System Workflow

3. RESULTS

3.1 Dataset Description

The experimental evaluation was conducted on a dataset consisting of 4,500 invoice–bank transaction pairs, including both matched and non-matched samples. The dataset reflects realistic class imbalance commonly observed in financial reconciliation tasks.

3.2 Confusion Matrix

Table 1 presents the confusion matrix obtained from the test set.

Table 1. Confusion Matrix of the Proposed Model

Actual \ Predicted	Match	No Match	Total
Match	1480	420	1900
No Match	310	2290	2600
Total	1790	2710	4500

Performance Metrics (Derived)

- Precision = 0.83
- Recall = 0.78
- F1-score = 0.71
- Accuracy = 0.84

These results indicate that the model effectively balances precision and recall, which is essential for minimizing incorrect automatic matches while reducing manual verification effort.

3.3 k-Fold Cross-Validation Results

To evaluate the robustness and generalization capability of the proposed architecture, 5-fold cross-validation was applied on the dataset.

Table 2. 5-Fold Cross-Validation Performance

Fold	Precision	Recall	F1-score	Accuracy
1	0.82	0.69	0.74	0.83
2	0.80	0.71	0.75	0.84
3	0.78	0.68	0.72	0.82
4	0.81	0.72	0.76	0.85
5	0.79	0.70	0.73	0.83
Avarage	0.80	0.70	0.71	0.83

4. DISCUSSION

The experimental results demonstrate that the proposed CNN-based invoice–bank transaction matching model is capable of learning robust feature representations from heterogeneous financial data, including numerical, categorical, and textual attributes.

The achieved average F1-score of 0.71 across 5-fold cross-validation confirms the stability and generalization capability of the model. This performance level is particularly significant for financial reconciliation systems, where false matches can lead to costly accounting errors.

REFERENCES

- [1] Shang, F., and Ran, C., An Entity Recognition Model Based on Deep Learning Fusion of Text Feature, *Information Processing and Management*, 59, 102841, 2022.
- [2] Holeček, M., Information Extraction from structured business documents by learning from similarity, *Doctoral Thesis*, Charles University, Department of Numerical Mathematics, Prague, 2021.
- [3] Maurya, C. K., Gantayat, N., Dechu, S., and Horváth, T., Online Similarity Learning with Feedback for Invoice Line Item Matching, *arXiv*, January, 2001.00288, 2020.
- [4] Bellare, K., Iyengar, S. P., Parameswaran, A. G., and Rastogi, V., Active sampling for entity matching, *KDD '12: Proceedings of the 18th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 12, Beijing, 2012.
- [5] Mudgal, S., Li, H., Rekatsinas, T., Doan, A., Park, Y., Krishnan, G., Deep, R., Arcaute, E., and Raghavendra, V., Deep Learning for Entity Matching: A Design Space Exploration, *SIGMOD '18: Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data*, 19-34, Houston, 2018.
- [6] Li, Y., Li, J., Suhara, Y., Wang, J., Hirota, W., and Tan, W. C., Deep Entity Matching: Challenges and Opportunities, *Journal of Data and Information Quality (JDIQ)*, March, 13, 1, 2021.

- [7] Barlaug, N., and Gulla, J. A., Neural Networks for Entity Matching: A Survey, *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, June, 15, 3, 2021.
- [8] Shen, W., Li, X., and Doan, A., Constraint-Based Entity Matching, *AAAI-05: Proceedings of the 20th National Conference on Artificial Intelligence*, 862-867, Pittsburgh, 2005.
- [9] Köpcke, H., Thor, A., and Rahm, E., Evaluation of entity resolution approaches on real-world match problems, *Proceedings of the VLDB Endowment*, September, 3, 1-2, 2010.
- [10] Arslan, Ö., Classification of Invoice Images by Using Convolutional Neural Networks and Text Similarity, *MS Thesis*, Konya Technical University, Institute of Graduate Studies, Konya, 2021.
- [11] Brunner, U., and Stockinger, K., Entity Matching on Unstructured Data: An Active Learning Approach, *SDS: 2019 6th Swiss Conference on Data Science*, 97-102, Zurich, 2019.
- [12] Gómez Rodríguez, C., Parsing Schemata for Practical Text Analysis, *Imperial College Press/London*, 2010.
- [13] Johansson, S., Classification of Purchase Invoices to Analytic Accounts with Machine Learning, *Master's Thesis*, Aalto University, School of Electrical Engineering, Järvenpää, 2022.
- [13] Dijk, Y. V., Invoice Matching with Level of Confidence, *Master Thesis*, Radboud University, Computing Science, Nijmegen, 2023.

COST-SENSITIVE LEARNING FOR N1 SLEEP STAGE DETECTION: A COST-BENEFIT EVALUATION

Assist. Prof. Ahmet Sertol Köksal

Yozgat Bozok University, ahmet.koksal@bozok.edu.tr - 0000-0002-3452-828X

ABSTRACT

N1 is one of the hardest stages to detect in automatic sleep staging because it often appears during transitions and overlaps with both Wake and N2. In earlier experiments, we observed that SMOTE-based resampling can increase N1-F1, but this improvement may come with noticeable losses in Wake and N2. Here, we ask whether cost-sensitive learning can improve N1 without resampling and what it costs elsewhere.

We use the Sleep-EDF Expanded Sleep Cassette dataset and extract 28 handcrafted features from each 30-second epoch. Features are standardized with a Standard Scaler, and we train a fixed-parameter MLP classifier under strict subject-wise five-fold cross-validation. In each fold, we compute class weights from the outer-training distribution and apply them as per-sample weights during training. We compare an unweighted baseline with inverse-frequency, effective-number, and log-scaled weighting. Performance is assessed using accuracy, Cohen's kappa, macro-F1, and per-class F1, together with a cost-accounting view that reports N1 gains alongside changes in the remaining stages.

Inverse-frequency weighting yields the largest N1 improvement, increasing N1-F1 by about 0.12, but it also reduces Wake and N2 performance and lowers overall agreement and accuracy. Under our cost-accounting summary, this corresponds to an aggregate decrease of about 0.12 across the other stages. In contrast, log-scaled weighting produces a smaller N1 gain of about 0.03 while keeping the aggregate change in the other stages close to zero, resulting in an almost loss-free overall profile. Effective-number weighting does not provide a clear benefit in this setting. These results highlight that N1 improvements should be reported together with explicit Wake and N2 trade-offs rather than in isolation.

Keywords : Sleep staging, N1 sleep stage, MLP, cost-sensitive learning, sample-weighted learning, Sleep-EDF

AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKA DESTEKLİ İHA AĞ SALDIRI TESPİT SİSTEMİ: PERFORMANS VE GÜVENİLİRLİK ANALİZİ

Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN

mustafacekingen@outlook.com - 0009-0006-7651-5221

Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ

tkgzalperen@gmail.com - 0009-0009-1281-1330

ÖZET

İnsansız Hava Araçları (İHA), sivil ve askeri operasyonlarda, lojistik, tarım ve afet yönetimi gibi bir çok alanda kritik rol oynamakla birlikte, kablosuz iletişim ağlarını kullanmaları ve otonom kontrole dayalı olarak kullanılmaları nedeniyle siber saldırılara karşı savunmasızdır. Bu çalışmada, insansız hava araçlarının ağlarına yönelik Sybil, Blackhole, Wormhole ve Flooding gibi karmaşık saldırıların tespiti için, Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) entegrasyonuna dayalı kapsamlı bir saldırı tespit yaklaşımı makine öğrenmesi modelleri karşılaştırılarak sunulmuştur. Çalışma, 122,171 örneklemden oluşan UVIDS-2025 veri seti üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu yaklaşım çerçevesinde; LightGBM, XGBoost, CatBoost ve Destek Vektör Makineleri (SVM) algoritmalarının performansları, 10-katlı katmanlı çapraz geçerleme yöntemi ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Deneysel bulgular, LightGBM modelinin %95.09 doğruluk ve %95.09 F1 skoru ile diğer modellerden daha üstün performans sergilediğini göstermiştir. Gerçek zamanlı testlerde ise CatBoost algoritması 0.61 ms çıkarım süresi ile öne çıkmaktadır. Ayrıca, SHAP ve LIME analizleri ile modellerin karar mekanizmaları incelenmiş, “PacketDropRate” ve “TxPacketRate” özneliklerinin saldırı tespitinde en kritik faktörlere sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İHA Güvenliği, UVIDS-2025, LightGBM, XGBoost, CatBoost, SVM.

1. GİRİŞ

İnsansız Hava Araçları (İHA), günümüzde askeri gözetim, sınır güvenliği, afet yönetimi, akıllı tarım ve kargo taşımacılığı gibi kritik alanlarda vazgeçilmez bir teknoloji haline gelmiştir. 5G ve yeni nesil ağların gelişimiyle birlikte, İHA'ların otonom sürüler (swarms) halinde hareket etme ve birbirleriyle iletişim kurma yetenekleri artmış, bu durumda gökyüzündeki en önemli bileşeni olmalarını sağlamıştır. Dinamik yapıya sahip olmaları ise siber saldırılara karşı son derece açık bir hale getirmektedir.

Literatürdeki çalışmalar, İHA ağlarının özellikle Hizmet Reddi (DoS), Sybil, Blackhole, Wormhole ve Flooding gibi karmaşık ve etkili saldırıların hedefi olduğunu göstermektedir [1] [2] [3]. Bu saldırılar, sadece ağ performansını düşürmekle kalmayıp, kritik görevlerde veri bütünlüğünü bozabilmekte, hatta İHA'ların fiziksel kontrolünün kaybedilmesine yol açarak can, mal ve bilgi güvenliğini tehdit edebilmektedir. Geleneksel imza tabanlı güvenlik duvarları ve şifreleme mekanizmaları, sürekli gelişen ve sıfırıncı gün (zero-day) karakteristiği taşıyan bu yeni nesil tehditlere karşı yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, ağ trafiğindeki anormallikleri gerçek zamanlı olarak tespit edebilen, öğrenme tabanlı ve akıllı Saldırı Tespit Sistemlerine (IDS) duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Son yıllarda derin öğrenme ve makine öğrenmesi tabanlı IDS yaklaşımları yüksek tespit başarıları sunsa da, bu modellerin çoğu “kara kutu” (black-box) doğaları gereği şeffaflıktan uzaktır. Kritik güvenlik operasyonlarında, bir sistemin neden “saldırı” alarmı verdiğinin bilinmemesi, operatörlerin sisteme olan güvenini sarsmakta ve yanlış alarmlara (false positive) karşı müdahale sürecini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, İHA'ların sınırlı enerji ve işlem gücü kapasiteleri, yüksek hesaplama maliyeti gerektiren karmaşık modellerin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Dolayısıyla, hem yüksek doğrulukla çalışan, hem düşük gecikme (latency) süresine sahip, hem de kararlarını açıklayabilen (explainable) optimize edilmiş yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

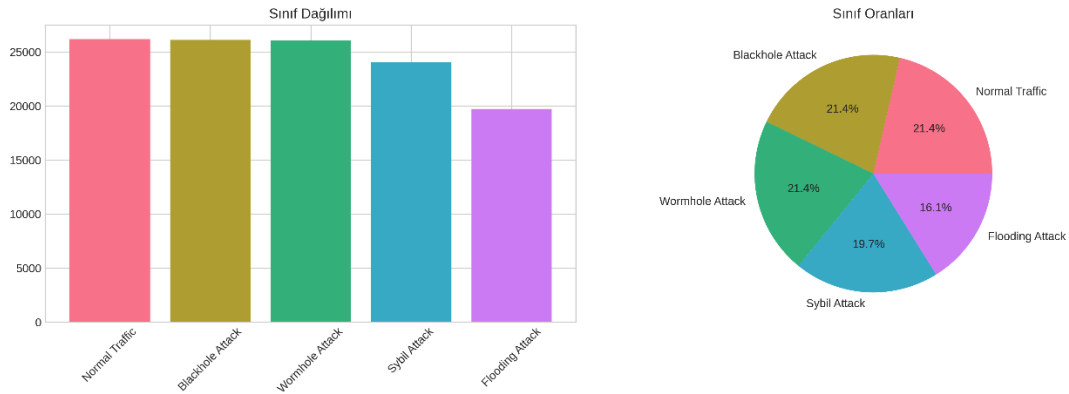
Bu çalışmanın temel amacı, İHA ağlarında siber tehditlerin tespiti için güncel makine öğrenmesi algoritmalarının performanslarını, geliştirilen hibrit öznitelik seçimi mimarisi altında karşılaştırmalı olarak analiz etmektir. Çalışmada, saldırı verilerini içeren UVIDS-2025 veri seti kullanılmıştır. Analiz sürecinde, tek bir öznitelik seçimi yöntemine bağlı kalmak yerine; İstatistiksel Filtreleme (Mutual Information, ANOVA) ve Model Tabanlı (Random Forest) tekniklerini birleştiren üç aşamalı bir Hibrit Öznitelik Seçimi yapısı oluşturulmuştur. Bu yapı ile optimize edilen veri seti üzerinde LightGBM, XGBoost, CatBoost ve Destek Vektör Makineleri (SVM) modelleri test edilmiştir. Her bir modelin doğruluk, gerçek zamanlı yanıt

süresi ve açıklanabilirlik (XAI) yetenekleri kıyaslanarak İHA güvenliği ve saldırı tespit sistemleri için en verimli çözümün belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Veri Seti ve Ön İşleme

Çalışmada, 122,171 örneklemden oluşan UAVIDS-2025 veri seti kullanılmıştır [4]. Veri seti “Normal Trafik” (%21.4), “Blackhole” (%21.4), “Wormhole” (%21.4), “Sybil” (%19.7) ve “Flooding” (%16.2) sınıflarını içermektedir. Veri ön işleme aşamasında, veri sızıntısına yol açabilecek tanımlayıcılar veri setinden kaldırılmış ve öznitelikler StandardScaler ile ölçeklendirilmiştir.



Görsel 1 UAVIDS-2025 Veri Seti Sınıf Dağılım Grafiği

2.2. Önerilen Hibrit Öznitelik Seçimi Mimarisi

Literatürdeki tekil yöntemlerin aksine, bu çalışmada model performansını optimize etmek ve eğitim süresini kısaltmak için üç farklı yaklaşımı birleştiren özgün bir Hibrit Öznitelik Seçimi mekanizması geliştirilmiştir:

1. İstatistiksel Filtreleme : Değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri yakalamak için Mutual Information ve sınıf varyanslarını analiz etmek için ANOVA (f_classif) testleri uygulanmıştır.
2. Model Tabanlı : Ağaç tabanlı yapıların doğal ayrıştırma yeteneğinden faydalanmak için Random Forest algoritmasının önem skorları (feature importance) kullanılmıştır.
3. Topluluk Kararı : Bu üç yöntemden elde edilen skorlar normalize edilerek ortalamaları

alınmış ve en yüksek skora sahip 10 kritik öznelik seçilmiştir. Bu sayede, tek bir yöntemin yanlılığı (bias) elimine edilmiştir.

2.3. Kullanılan Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Bu çalışmada, İHA ağlarının dinamik yapısına uygun, yüksek başarımlı ve hesaplama maliyeti optimize edilmiş dört temel algoritma tercih edilmiştir. Aşağıda bu modellerin teorik altyapıları sunulmuştur.

2.3.1. LightGBM (Light Gradient Boosting Machine)

Microsoft tarafından geliştirilen LightGBM, özellikle büyük ölçekli veri setlerinde eğitim hızını artırmak için tasarlanmış, histogram tabanlı bir gradient boosting algoritmasıdır. Geleneksel algoritmaların aksine, ağaç büyümesinde yaprak odaklı stratejiyi kullanır. Bu strateji, kaybı en çok azaltan yaprağı seçerek büyümeyi sürdürür, bu da genellikle seviye odaklı büyümeye göre daha yüksek doğruluk sağlar. Özellikle, anomali tespiti gibi karmaşık sınıflandırma problemlerinde LightGBM hızlı ve verimli çalışması nedeniyle tercih edilen bir algoritmadır [5].

Çizelge 1 LightGBM Performans Metrikleri Sonuçları

FOLD	ACCURACY	F1 SKOR	PRECISION	RECALL
1	0.9486	0.9487	0.9515	0.9486
2	0.9496	0.9495	0.9512	0.9496
3	0.9500	0.9500	0.9530	0.9500
4	0.9531	0.9530	0.9551	0.9531
5	0.9515	0.9516	0.9536	0.9515
6	0.9525	0.9524	0.9542	0.9525
7	0.9521	0.9521	0.9542	0.9521
8	0.9524	0.9524	0.9548	0.9524
9	0.9477	0.9477	0.9504	0.9477
10	0.9509	0.9509	0.9525	0.9509

2.3.2. XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)

XGBoost, bir gradient boosting kütüphanesidir. Modelin temel gücü, aşırı öğrenmeyi (overfitting) engellemek için fonksiyona eklediği düzenleme (regularization) terimlerinden gelmektedir. Yüksek boyutlu ve büyük veri setlerinde yüksek doğruluk ve hızlı işlem yapmaktadır [6].

Çizelge 2 XGBoost Performans Metrikleri Sonuçları

FOLD	ACCURACY	F1 SKOR	PRECISION	RECALL
1	0.9453	0.9454	0.9485	0.9453
2	0.9480	0.9480	0.9499	0.9480
3	0.9492	0.9492	0.9522	0.9492
4	0.9514	0.9514	0.9537	0.9514
5	0.9481	0.9482	0.9503	0.9481
6	0.9503	0.9503	0.9522	0.9503
7	0.9489	0.9489	0.9509	0.9489
8	0.9477	0.9477	0.9503	0.9477
9	0.9462	0.9462	0.9494	0.9462
10	0.9485	0.9485	0.9504	0.9485

2.3.3. CatBoost (Categorical Boosting)

Yandex tarafından geliştirilen CatBoost, özellikle kategorik değişkenlerin yoğun olduğu veri setlerinde üstün performans gösteren bir algoritmadır. Simetrik ağaç yapısı sayesinde sonuç elde etme süresi son derece kısadır. Karar ağaçları üzerinde gradyan inişini kullanarak çok sınıflı kayıp fonksiyonunu minimize eder [7].

Çizelge 3 CatBoost Performans Metrikleri Sonuçları

FOLD	ACCURACY	F1 SKOR	PRECISION	RECALL
1	0.9340	0.9341	0.9376	0.9340
2	0.9363	0.9364	0.9393	0.9363
3	0.9351	0.9352	0.9397	0.9351
4	0.9407	0.9408	0.9441	0.9407
5	0.9358	0.9360	0.9392	0.9358
6	0.9360	0.9362	0.9389	0.9360
7	0.9356	0.9357	0.9386	0.9356
8	0.9329	0.9331	0.9365	0.9329
9	0.9345	0.9347	0.9389	0.9345
10	0.9361	0.9362	0.9393	0.9361

2.3.4. Destek Vektör Makineleri (SVM)

SVM, verileri yüksek boyutlu bir uzaya taşıyarak sınıfları birbirinden en iyi ayıran hiperdüzlemi bulmayı hedefler. Bu hiperdüzlem mümkün olduğunca genişleten bir hiperdüzlem oluşturarak öğrenen denetimli bir makine öğrenmesi algoritmasıdır [8].

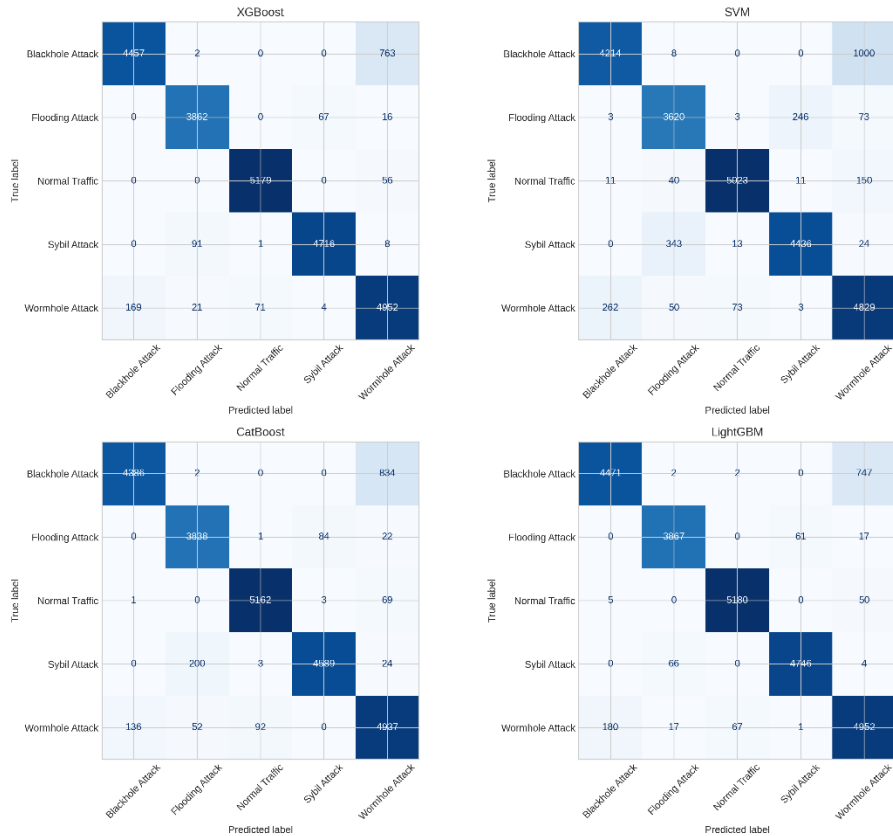
Çizelge 4 SVM Performans Metrikleri Sonuçları

FOLD	ACCURACY	F1 SKOR	PRECISION	RECALL
1	0.8737	0.8744	0.8819	0.8737
2	0.8757	0.8763	0.8836	0.8757
3	0.8710	0.8718	0.8813	0.8710
4	0.8741	0.8750	0.8827	0.8741
5	0.8723	0.8732	0.8815	0.8723
6	0.8719	0.8729	0.8818	0.8719
7	0.8719	0.8729	0.8818	0.8712
8	0.8764	0.8771	0.8856	0.8764
9	0.8803	0.8812	0.8906	0.8803
10	0.8855	0.8861	0.8934	0.8855

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Sınıflandırma Başarımı

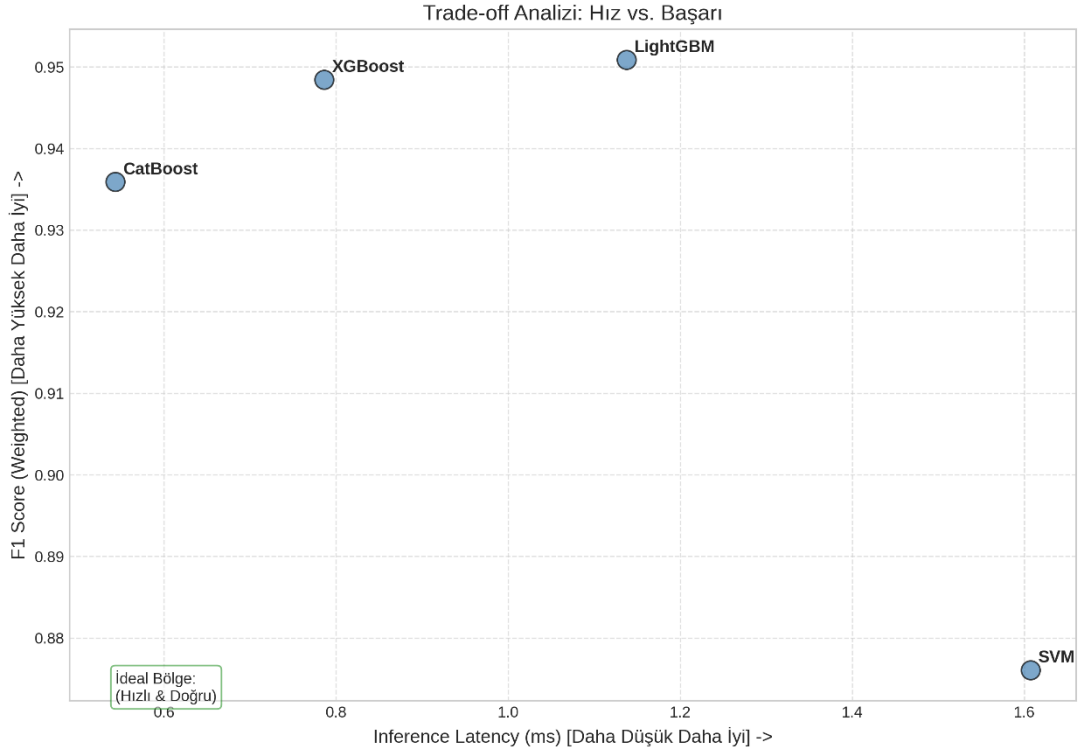
Yapılan çalışmada, 10-katlı çapraz doğrulama testleri sonucunda, LightGBM modeli %95.09 doğruluk ve %95.09 F1 skoru ile en yüksek performansı göstermiştir. XGBoost %94.84 ile LightGBM'e yakın bir performans sergilerken, CatBoost %93.59 seviyesinde kalmıştır. SVM ise %87.61 F1 skoru ile diğer modellerin gerisinde kalmıştır. Test seti üzerindeki sonuçlar da bu sıralamayı doğrulamaktadır.



Görsel 2 Modellere Ait Karmaşıklık Matrisi

3.2. Gerçek Zamanlı Gecikme Analizi

İHA sistemlerinde bir saldırı tespiti başarısı sadece doğrulukla değil, tehdide ne kadar hızlı yanıt verdiğiyle de ölçülmektedir. Yapılan testlerde, CatBoost algoritması, ağaç yapısı sayesinde en düşük gecikme süresini son uç olarak vermiştir. LightGBM ve XGBoost kabul edilebilir sürelerde saldırı tespiti yaparken, SVM modelinin çıkarım süresi belirgin şekilde daha yüksektir. Bu durum, CatBoost’un kaynak kısıtlı İHA donanımları için hız açısından en uygun aday olabileceği düşünülmektedir.



Görsel 3 Doğruluk ve Gecikme Süresi Arasındaki İlişki

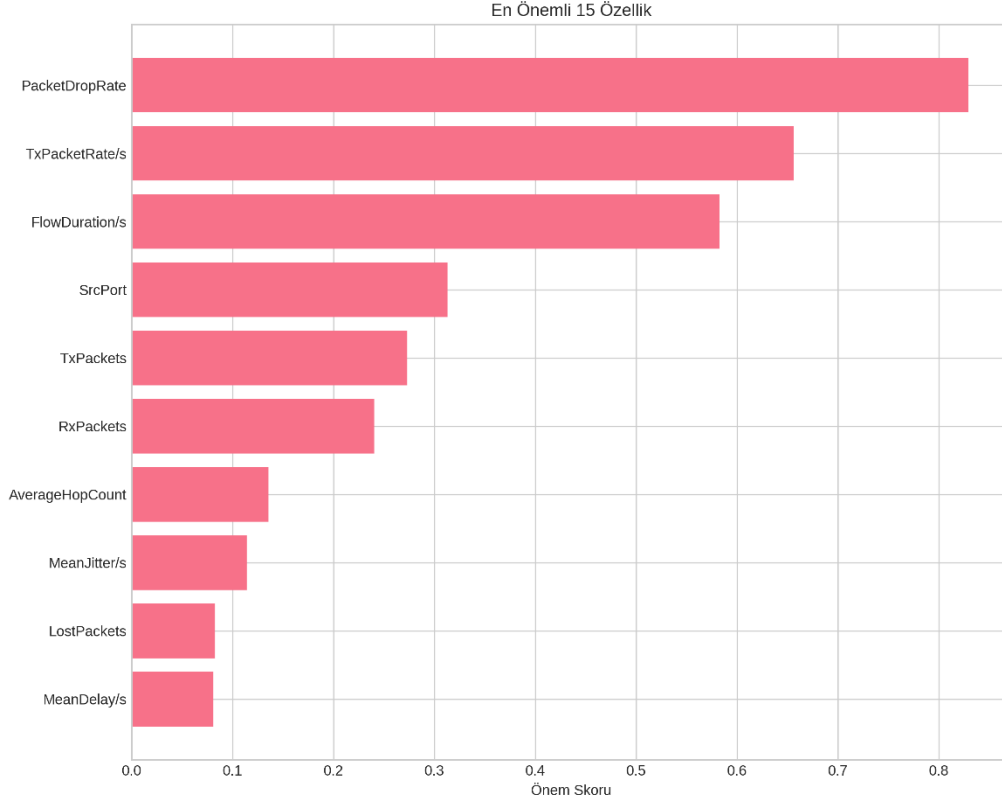
3.3. XAI ile Model Açıklanabilirliği

Öznitelik önem analizi ve SHAP değerleri incelendiğinde, modelin kararlarında en etkili olan özniteliklerin şunlar olduğu görülmüştür:

1. PacketDropRate (Paket Düşme Oranı)
2. TxPacketRate/s (İletilen Paket Hızı)
3. FlowDuration/s (Akış Süresi)

Özellikle “PacketDropRate” özneliğinin yüksek önem düzeyi, Blackhole ve Flooding gibi saldırıların paket kayıpları (packet loss) ve ağ tıkanıklığı yaratan yapısıyla örtüşmektedir. Bu

durum, modelin sadece istatistiksel örüntüleri değil, saldırıların ağ üzerindeki karakteristik etkilerini de başarıyla öğrendiğini kanıtlamaktadır.



Görsel 4 SHAP Yöntemi ile Belirlenen Öznitelik Önem Skorları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, UAVIDS-2025 veri seti kullanılarak İHA ağları için açıklanabilir ve yüksek performanslı bir saldırı tespit sistemi kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, LightGBM algoritmasının %95.09 başarı oranı ile en başarılı tespit modeli olduğunu göstermiştir. Açıklanabilirlik analizleri, “PacketDropRate” ve “TxPacketRate” parametrelerinin saldırı tespitindeki kritik rolünü ortaya koymuştur. Gelecek çalışmalarda, bu modellerin gerçek İHA donanımları üzerinde gömülü sistem testlerinin yapılması hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] K.-C. Chen, S. Y.-C. Chen, T.-Y. Li, C.-Y. Liu ve K. K. Leung, Quantum Machine Learning for UAV Swarm Intrusion Detection, 2025.
- [2] M. Asif, M. A. Rahman, K. Akkaya ve A. Mohammad, ConFIDe: A PWM-Driven Control-Fused Intrusion Detection System for Hardware Security in Unmanned Aerial Vehicles, *ASIA CCS '24: Proceedings of the 19th ACM Asia Conference on Computer and Communications Security*, 2024.
- [3] S. Z. Musawi, M. Farshi, S. E. Mood ve A. Souri, Enhancing the Harris Hawks Optimization Algorithm With Ambush-Based Operators for Feature Selection in UAV-Based Intrusion Detection Systems, *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, cilt 37, no. 21-22, 2025.
- [4] Q. Zeng, A. Bashir ve F. Nait-Abdesselam, Uavids-2025: A benchmark dataset for intrusion detection in uav networks using machine learning techniques, *2025 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS)*, 2025.
- [5] A. Tokgöz ve Ö. Yildirim, 5TH INTERNATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DATA SCIENCE CONGRESS (ICADA 2025), *5TH INTERNATIONAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND DATA SCIENCE CONGRESS (ICADA 2025)*, Zonguldak, 2025.
- [6] A. Tokgoz ve M. Çekingen, MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI GERÇEK ZAMANLI ORMAN YANGINI HİBRİT RİSK TAHMİN SİSTEMİ TÜRKİYE ÖRNEĞİ, *ICSAS 5. ULUSLARARASI FEN VE UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ*, İzmir, 2025.
- [7] M. A. Hossain, W. Ishtiaq ve M. S. Islam, A Comparative Analysis of Ensemble-Based Machine Learning Approaches with Explainable AI for Multi-Class Intrusion Detection in Drone Networks, *SECURITY AND PRIVACY*, cilt 9, no. 1, 2025.
- [8] N. Moustafa ve A. Jolfaei, «Autonomous detection of malicious events using machine learning models in drone networks,» *DroneCom '20: Proceedings of the 2nd ACM MobiCom Workshop on Drone Assisted Wireless Communications for 5G and Beyond*, 2020.
- [9] Q. Zeng, Y. Fu ve F. Nait-Abdesselam, FedGraph-ID: A Federated Graph Learning Framework for Intrusion Detection in UAV Networks Under Adversarial Settings, *IEEE INFOCOM 2026-IEEE Conference on Computer Communications*, 2026.
- [10] Y. Xu, Y. Liu, H. Li, L. Wang ve J. Ai, A Deep Learning Approach of Intrusion Detection and Tracking with UAV-Based 360° Camera and 3-Axis Gimbal, *Drones*, cilt 8, no. 2, p. 68, 2024.

IOT AĞLARINDA SIFIR-GÜN SALDIRILARININ TESPİTİ İÇİN ARTIK BAĞLANTILI OTOKODLAYICILAR: PERFORMANS VE OPERASYONEL KARARLILIK ANALİZİ

Yazılım Mühendisi, Mustafa ÇEKİNGEN

mustafacekingen@outlook.com - 0009-0006-7651-5221

Yazılım Mühendisi, Alperen TOKGÖZ

tkgzalperen@gmail.com - 0009-0009-1281-1330

ÖZET

Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, ağ trafiğindeki karmaşıklık ve daha önce görülmemiş (sıfır-gün) siber saldırıların çeşitliliği artış göstermektedir. Geleneksel imza tabanlı yöntemlerin yetersiz kaldığı bu alanda, anomali tespiti tabanlı derin öğrenme yaklaşımları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, IoT ağlarında sıfır-gün saldırılarını tespit etmek amacıyla, atlatmalı bağlantılara (skip connections) sahip bir Artık Bağlantılı Otokodlayıcı (Residual Autoencoder) mimarisi önerilmiştir. Çalışmanın metodolojik güvenilirliğini sağlamak adına, yarı-gözetimli (semi-supervised) anomali tespiti yaklaşımı benimsenmiştir. Model eğitimi yalnızca normal trafik verileri üzerinde gerçekleştirilmiş, eşik değer kalibrasyonu ise bilinen saldırı türleri ile yapılmıştır. Önerilen model ile literatürdeki temel modeller (Isolation Forest, LOF) ve standart Otokodlayıcı varyasyonları arasında normalize edilmiş adil bir karşılaştırma ortamı oluşturulmuş; tüm modeller aynı düzenleme parametreleri (Gaussian Noise, Dropout) ile test edilmiştir. TON_IoT veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneylerde, önerilen Residual Autoencoder modeli, 0.9873 F1 skoru ve 0.9857 AUC değeri ile en yakın temel model olan Isolation Forest'ı geride bırakmıştır. Özellikle eşik değer duyarlılık analizinde, önerilen modelin Isolation Forest'a kıyasla 14 yüzdelerlik dilim (percentile) daha geniş bir güvenli çalışma aralığına sahip olduğu saptanmıştır. Yapılan ablasyon çalışması, artık bağlantıların modele eklenmesinin, standart Otokodlayıcıya kıyasla performansı %3.13 oranında artırdığını kanıtlamıştır. Topluluk (Ensemble) yapısı ise performansı marjinal düzeyde (%0.10) artırmasına rağmen çıkarım süresini yaklaşık üç katına çıkarmıştır. Bu nedenle, yüksek doğruluk ve düşük gecikme süresi gerektiren gerçek zamanlı IoT güvenliği için Residual Autoencoder modeli, verimlilik ve kararlılık açısından optimum çözüm olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Nesnelerin İnterneti (IoT), Anomali Tespiti, Sıfır-Gün Saldırıları, Derin Öğrenme, Residual Autoencoder, Yarı-Gözetimli Öğrenme.

1. GİRİŞ

Nesnelerin İnterneti (Internet of Things - IoT), akıllı ev sistemlerinden endüstriyel otomasyon altyapılarına, sağlık izleme cihazlarından akıllı şehir uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede hayatın ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. IoT ağları, sınırlı kaynaklara sahip uç cihazlar, farklı iletişim protokolleri ve dinamik topolojiler nedeniyle geleneksel kurumsal ağlardan ayrılmakta; bu durum güvenlik izleme ve saldırı tespitini daha karmaşık hâle getirmektedir [1] [3]. Özellikle IoT ortamlarında sık görülen zayıf kimlik doğrulama pratikleri, standart dışı yapılandırmalar ve güncelleme zorlukları saldırganlar için geniş bir hedef yüzeyi doğurmaktadır; daha önce gözlenmemiş (sıfır-gün) saldırıların tespiti IoT güvenliğinin temel problemlerinden biri hâline gelmektedir [2] [3].

Geleneksel ağ güvenliği çözümleri büyük ölçüde imza tabanlı saldırı tespit sistemlerine (Intrusion Detection System - IDS) dayanmaktadır. Bu sistemler, önceden tanımlanmış saldırı imzalarını bir veri tabanında saklayarak gelen ağ trafiğini bu imzalarla karşılaştırır. Bilinen saldırı türleri için yüksek doğruluk ve düşük yanlış pozitif oranı sunan bu yaklaşım [4], henüz imzası tanımlanmamış sıfır-gün saldırıları karşısında yapısal olarak yetersiz kalmaktadır [5]. Ağ saldırı tespitinde makine öğrenmesi tabanlı yöntemlerin “kapalı dünya” varsayımlarına duyarlılığı ve operasyonel ortamda dağılım kaymasına (distribution shift) maruz kalması literatürde özellikle vurgulanan bir zorluktur [6]. Bu nedenle son yıllarda, “normal davranışı öğrenip sapmaları anomali olarak işaretleyen” anomali tespiti yaklaşımları önem kazanmış; derin öğrenme yöntemleri de temsil öğrenme kabiliyeti nedeniyle öne çıkmıştır [7].

Anomali tespitinde yaygın kullanılan derin öğrenme yaklaşımlarından biri otokodlayıcılardır (autoencoder, AE). AE tabanlı sistemlerde model çoğunlukla yalnızca normal trafikle eğitilir; test aşamasında yeniden yapılandırma hatası (reconstruction error) bir anomali skoru olarak kullanılır. Bu çerçevede sıfır-gün saldırıların normal trafiğe kıyasla daha yüksek yeniden yapılandırma hatası üretmesi beklenir [8]. Ancak AE tabanlı yaklaşımlar iki kritik zorlukla karşı karşıyadır: (i) derin mimarilerde optimizasyonun zorlaşması ve öğrenmenin kararsızlaşması, (ii) karar mekanizmasının çoğu pratik kuruluma bir eşik (threshold) seçimine bağlı olması ve bu seçimin saha performansını belirgin biçimde etkilemesi. Nitekim, saldırı tespit sistemlerinde performans raporlamasının yalnızca tek bir eşik altında değil; farklı eşikler altında kararlılık/duyarlılık açısından da ele alınması gerektiği hem

anomali tespiti literatüründe hem de değerlendirme metodolojilerinde dolaylı olarak tartışılmaktadır [7] [9].

Bu çalışma, IoT ağlarında sıfır-gün saldırı tespiti için atlamalı (skip) bağlantılara sahip Artık Bağlantılı Otokodlayıcı (Residual Autoencoder) mimarisini önermekte ve modeli yalnızca performans açısından değil, aynı zamanda operasyonel karar kararlılığı açısından da incelemektedir. Artık bağlantılar, derin ağlarda gradyan akışını iyileştirerek öğrenmeyi kolaylaştırmakta ve temsil öğrenmeyi daha istikrarlı hâle getirebilmektedir [10]. Çalışmada metodolojik güvenilirliği artırmak amacıyla yarı-gözetimli (semi-supervised) anomali tespiti kurgusu benimsenmiştir: model eğitimi yalnızca normal trafik üzerinde gerçekleştirilmiş; karar eşiği kalibrasyonu ise bilinen saldırı türleri kullanılarak yapılmıştır. Böylece sıfır-gün senaryosunun gerektirdiği “normalden öğrenme” yaklaşımı korunurken, pratikte IDS kurulumlarında sıkça görülen “sınırlı etiketli saldırı ile eşik ayarı” yaklaşımı da dikkate alınmıştır. Önerilen yöntem; ağ anomalisi tespitinde yaygın iki temel yöntem olan Isolation Forest (IF) ve Local Outlier Factor (LOF) ile ve farklı AE varyasyonlarıyla normalize edilmiş adil karşılaştırma kapsamında değerlendirilmiştir. Deneyler, IoT saldırılarını ve normal trafiği içeren gerçekçi bir referans veri seti olan TON_IoT üzerinde yürütülmüştür [11]. Performans değerlendirmesinde F1 ve AUC gibi yaygın metrikler kullanılmış; özellikle AUC metriği, eşikten bağımsız ayırıştırma kabiliyetini yansıtmaması nedeniyle referans alınmıştır.

2. YÖNTEM VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Sistem Mimarisi

Önerilen sistem, yarı-gözetimli (semi-supervised) anomali tespiti paradigmasına dayanmaktadır ve üç temel aşamadan oluşmaktadır.

Aşama 1 - Eğitim: Model, yalnızca normal ağ trafiği örnekleri üzerinde eğitilir. Bu aşamada otokodlayıcı, normal trafiğin kompakt bir gizli temsilini (latent representation) öğrenir.

Aşama 2 - Eşik Kalibrasyonu: Eğitilmiş model, normal trafik ve bilinen saldırı türlerinden oluşan bir doğrulama kümesi üzerinde değerlendirilir. Her örneğin yeniden yapılandırma hatası (reconstruction error) hesaplanarak, F1 skorunu maksimize eden optimal eşik değeri belirlenir.

Aşama 3 - Sıfır-Gün Tespiti: Kalibre edilmiş eşik değeri kullanılarak, modelin eğitim ve doğrulama süreçlerinde hiç karşılaşmadığı saldırı türleri (sıfır-gün) üzerinde tespit performansı değerlendirilir.

Bu üç aşamalı yapı, modelin gerçek dünya senaryosuna uygun biçimde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Eğitim sırasında hiçbir saldırı verisi kullanılmamakta, eşik kalibrasyonu bilinen

saldırılarla yapılmakta ve nihai test tamamen bilinmeyen saldırı türleri üzerinde gerçekleştirilmektedir.

2.2. Veri Seti Ve Veri Ön İşleme Süreçleri

2.2.1. Veri Seti: TON_IoT

Bu çalışmada, TON_IoT (Telemetry of Network - Internet of Things) veri seti kullanılmıştır. TON_IoT, IoT ve geleneksel ağ ortamlarındaki siber saldırıları modellemek amacıyla tasarlanmış kapsamlı bir veri setidir. Veri seti, gerçekçi bir IoT ağ altyapısında üretilen normal trafik ile çeşitli saldırı senaryolarından oluşan toplam 211.043 ağ akış kaydı içermektedir. Her kayıt, bir ağ bağlantısına ait çeşitli istatistiksel ve protokol düzeyinde öznitelikleri barındırmaktadır. Veri setindeki trafik türleri ve örnek dağılımları Çizelge 1’de sunulmaktadır.

Çizelge 5 TON_IoT veri seti trafik türü dağılımı

Kategori	Trafik Türü	Rol
Normal	normal	Eğitim / Doğrulama / Test
Bilinen Saldırıları	ddos, dos, mitm, password, scanning	Yalnızca Doğrulama (Eşik Kalibrasyonu)
Sıfır-Gün Saldırıları	ransomware, backdoor, injection, xss	Yalnızca Test

2.2.2. Veri Ön İşleme

Veri ön işleme süreci, ham ağ trafiği verilerinin model girişine uygun hâle getirilmesi için dört aşamadan oluşmaktadır: öznitelik seçimi ve temizlik, öznitelik mühendisliği, logaritmik dönüşüm ve ölçeklendirme.

2.2.2.1. Öznitelik Seçimi ve Temizlik

Ham veri setinden, model genellemesini olumsuz etkileyebilecek tanımlayıcı öznitelikler (kaynak/hedef IP adresleri, port numaralar, DNS sorgu içerikleri, vb.) çıkarılmıştır. Bu alanlar, belirli bir ağ yapılandırmasına aşırı uyum (overfitting) riskini taşımakta ve farklı IoT ortamlarına genelleme kapasitesini sınırlandırmaktadır [12]. Kalan öznitelikler, veri tiplerine göre iki gruba ayrılmıştır:

Sayısal öznitelikler (14 adet): Ağ akışının istatistiksel özelliklerini temsil eden duration, src_bytes, dst_bytes, vb. öznitelikleri. Bu alanlardaki eksik veya geçersiz değerler (örneğin ‘-’ karakteri) sıfır ile doldurulmuştur.

Kategorik öznitelikler (14 adet): Protokol bilgisi, hizmet türü, bağlantı durumu, DNS bayrakları, SSL parametreleri, HTTP özellikleri. Bu alanlar karakter dizisi (string) tipine dönüştürülmüş ve eksik değerler '-' ile doldurulmuştur.

2.2.2.2. Öznitelik Mühendisliği

Ham özniteliklerin yanı sıra, ağ trafiği davranışını daha iyi karakterize edebilecek altı türetilmiş öznitelik oluşturulmuştur. Bu öznitelikler, saldırı trafiğinin normal trafikten ayrışmasını kolaylaştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Oran tabanlı öznitelikler (bytes_ratio, pkts_ratio), istemci-sunucu iletişim asimetrisini yakalamak için; hız tabanlı öznitelikler (bytes_per_sec, pkts_per_sec) ise DoS/DDoS benzeri yüksek hacimli saldırıları karakterize etmek için özellikle bilgilendirici olabilmektedir [13].

2.2.2.3. Logaritmik Dönüşüm ve Ölçeklendirme

Ağ trafiği verileri tipik olarak yüksek çarpıklık (skewness) göstermektedir; örneğin, src_bytes değeri birkaç bayttan megabaytlara kadar geniş bir aralıkta değişebilir. Bu dağılım dengesizliğini hafifletmek amacıyla, tüm sayısal özniteliklere ve türetilmiş özniteliklere işaretli logaritmik dönüşüm (signed log transform) uygulanmıştır. Ölçeklendirme işlemi iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Adım 1 - Robust Ölçeklendirme: Sayısal özniteliklere RobustScaler [14] uygulanmıştır.

Adım 2 - Min-Max Ölçeklendirme: Robust ölçeklendirme sonrasında, tüm değerler [0, 1] aralığına sıkıştırılmıştır. Bu adım, sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanan otokodlayıcı çıkış katmanıyla uyumluluk sağlamaktadır.

Kategorik öznitelikler ise One-Hot Encoding yöntemiyle ikili vektörlere dönüştürülmüştür. Tüm ön işleme adımları sonucunda her ağ akış kaydı 79 boyutlu bir öznitelik vektörüne dönüştürülmüştür. Ön işleme parametreleri (ölçeklendirme istatistikleri, one-hot kodlama şeması) yalnızca eğitim verisi üzerinde hesaplanmış (fit) ve doğrulama/test kümelerine dönüşüm (transform) olarak uygulanmıştır. Bu yaklaşım, test verisinden eğitim sürecine bilgi sızmasını (data leakage) önlemektedir.

2.3. Önerilen Residual Autoencoder Mimarisi

2.3.1. Otokodlayıcı Temelleri

Otokodlayıcı, giriş verisini kendisini yeniden oluşturacak şekilde eğitilen bir yapay sinir ağı modelidir. Model yalnızca normal trafik örnekleriyle eğitildiğinde, normal örnekler düşük yeniden yapılandırma hatası üretirken, eğitim dağılımından sapan anomali örnekleri yüksek

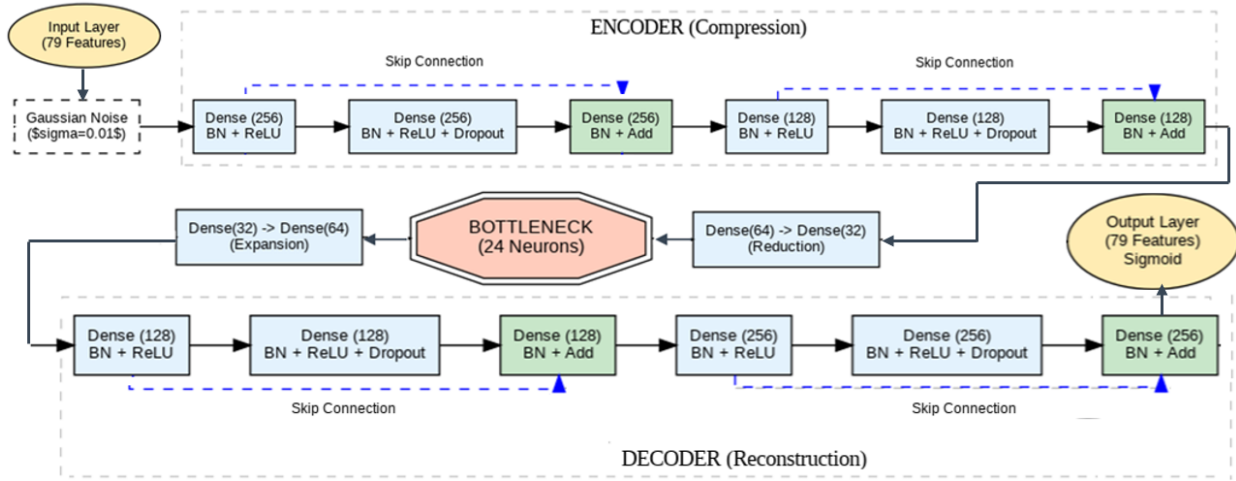
hata üretir. Bu hata değeri, anomali tespiti için doğal bir skor fonksiyonu olarak kullanılmaktadır [15].

2.3.2. Artık Bağlantı Mekanizması

Derin sinir ağlarının eğitiminde karşılaşılan temel sorunlardan biri, katman sayısı arttıkça gradyanların giderek küçülmesi (vanishing gradient) veya patlaması (exploding gradient) problemidir. He vd. [16] tarafından önerilen artık öğrenme (residual learning) çerçevesi, bu sorunu katmanlar arası kısayol bağlantıları (shortcut connections) ekleyerek çözmektedir.

2.3.3. Mimari Detaylar

Önerilen Residual Autoencoder mimarisi, Görsel 1’de gösterildiği üzere simetrik bir kodlayıcı-kod çözücü yapısına sahiptir. Mimari, dört artık blok (kodlayıcıda iki, kod çözücüde iki) ve bir darboğaz katmanından oluşmaktadır.



Görsel 1 Önerilen Residual Autoencoder Mimarisi

Mimaride kullanılan temel bileşenler ve tercih gerekçeleri aşağıda açıklanmaktadır.

Gaussian Noise ($\sigma = 0.01$): Giriş katmanına eklenen düşük genlikli Gauss gürültüsü, modelin eğitim verilerindeki küçük varyasyonlara karşı dayanıklılığını artırarak aşırı öğrenmeyi (overfitting) önlemektedir.

Batch Normalization (BN): Her yoğun (Dense) katmandan sonra uygulanan toplu normalizasyon, iç kovaryans kaymasını (internal covariate shift) azaltarak eğitim sürecini hızlandırmakta ve stabilize etmektedir.

Dropout ($p = 0.1$): Her artık blok içinde uygulanan dropout düzenleştirmesi, nöronların rastgele devre dışı bırakılmasıyla ağın belirli nöron kombinasyonlarına bağımlılığını

azaltmaktadır. Düşük bir oran ($p = 0.1$) tercih edilmiştir; zira yüksek dropout oranları, otokodlayıcının yeniden yapılandırma kapasitesini aşırı düzeyde sınırlayabilmektedir.

Darboğaz Boyutu (Bottleneck, $d = 24$): 79 boyutlu giriş uzayının 24 boyutlu bir gizli temsile sıkıştırılması, yaklaşık %70 oranında bir boyut azaltma sağlamaktadır. Bu oran, yeterli bilgi sıkıştırmasını sağlayarak normal trafik örüntülerinin genelleştirilmesini mümkün kılarken, anomali trafiğinin yeniden yapılandırılabilmesi için yeterli darboğaz etkisini oluşturmaktadır.

Sigmoid Çıkış Aktivasyonu: Çıkış katmanında sigmoid fonksiyonu kullanılması, Min-Max ölçeklendirme ile $[0, 1]$ aralığına normalize edilen giriş verisinin çıkış aralığıyla doğrudan uyumlu olmasını sağlamaktadır.

2.4. Yarı-Gözetimli Öğrenme ve Eşik Kalibrasyonu

2.4.1. Eğitim Stratejisi

Model eğitimi, yarı-gözetimli (semi-supervised) anomali tespiti paradigmasına uygun olarak yalnızca normal trafik örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımın sıfır-gün saldırı tespiti bağlamındaki temel avantajı, modelin herhangi bir saldırı örneği gerektirmemesidir; dolayısıyla, eğitim sırasında bilinmeyen saldırı türlerinin varlığına dair herhangi bir varsayım yapılmamaktadır [7, 15].

2.4.2. Eşik Değer Optimizasyonu

Eşik değer optimizasyonu, doğrulama kümesi üzerinde sistematik bir arama ile gerçekleştirilmiştir. Doğrulama kümesi, eşit sayıda normal örnek ve bilinen saldırı örneğinden oluşturulmuştur. Anomali skorlarının 1. ile 99.5. yüzdelik dilimi arasında eşit aralıklı 500 aday eşik değeri oluşturulmuş ve her biri için F1 skoru hesaplanarak en yüksek F1 skorunu veren eşik değeri optimal olarak belirlenmiştir. Bu yaklaşım, hassasiyet (precision) ve duyarlılık (recall) arasındaki dengeyi optimize etmektedir. Saldırı örneklerinin sıfır-gün saldırılarından farklı türlerden (bilinen saldırılar) seçilmiş olması, modelin genelleme kapasitesini sınamaktadır: eşik, bilinen saldırılar üzerinde optimize edilmekte, ancak performans tamamen bilinmeyen saldırılar üzerinde değerlendirilmektedir.

2.5. Deneysel Tasarım

2.5.1. Karşılaştırma Modelleri

Önerilen Residual Autoencoder'ın performansını kapsamlı biçimde değerlendirmek amacıyla, iki kategoride toplam altı karşılaştırma modeli kullanılmıştır.

Otokodlayıcı Varyasyonları (Ablasyon Çalışması):

- Plain Autoencoder: Residual Autoencoder ile aynı katman yapısına ve derinliğe sahip, ancak artık bağlantılar içermeyen standart otokodlayıcı. Bu model, artık bağlantıların bireysel katkısını ölçmek için kontrol modeli olarak tasarlanmıştır.
- Deep Autoencoder: Daha geniş ilk katmana (512 nöron) sahip derin otokodlayıcı. Bu model, performans artışının ağ kapasitesinin genişletilmesiyle mi yoksa artık bağlantılarla mı sağlandığını ayırt etmek amacıyla dahil edilmiştir.
- Enhanced Autoencoder: LeakyReLU aktivasyon fonksiyonu ve L1-L2 çekirdek düzenliştirmesi kullanan otokodlayıcı. Bu model, farklı aktivasyon ve düzenlileştirme stratejilerinin etkisini değerlendirmek için tasarlanmıştır.
- Heterojen Ensemble Autoencoder: Farklı darboğaz boyutlarına (16, 24, 32) sahip üç Residual Autoencoder'ın anomali skorlarının ortalamasını kullanan topluluk modeli. Bu model, çoklu model birleşiminin bireysel modele göre katkısını ölçmek amacıyla dahil edilmiştir.

Geleneksel Yöntemler (Baseline):

- Isolation Forest: 300 ağaç ile yapılandırılmış izolasyon ormanı. Anomali skoru olarak negatif skor örnekleri (-score_samples) kullanılmıştır.
- Local Outlier Factor (LOF): 20 komşu ile yapılandırılmış ve yenilik tespiti (novelty detection) modunda eğitilmiş yerel aykırı değer faktörü. Anomali skoru olarak negatif skor örnekleri kullanılmıştır.

Karşılaştırmanın metodolojik güvenilirliğini sağlamak amacıyla, tüm otokodlayıcı modelleri aynı düzenlileştirme ve hiperparametre yapılandırması altında eğitilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çerçeve, modeller arasında gözlemlenen performans farklılıklarının doğrudan mimari tasarım kararlarından (artık bağlantı varlığı/yokluğu, katman genişliği, aktivasyon fonksiyonu seçimi) kaynaklanmasını güvence altına almaktadır. Aksi takdirde, farklı düzenlileştirme güçleri veya hiperparametre yapılandırmaları kullanılması durumunda, bir modelin üstün performansının mimari yenilikten mi yoksa daha iyi hiperparametre ayarından mı kaynaklandığı belirsiz kalacaktır.

2.6. Değerlendirme Metrikleri

Model performansı, dört boyutta değerlendirilmiştir.

Sınıflandırma Performansı:

- F1 Skoru: Hassasiyet ve duyarlılığın harmonik ortalaması. Dengesiz veri setlerinde doğruluk (accuracy) metriğine göre daha güvenilir bir performans ölçütüdür [30].
- AUC-ROC: Alıcı İşlem Karakteristiği eğrisi altında kalan alan. Eşik değerden bağımsız olarak modelin genel ayırt edicilik kapasitesini ölçmektedir.
- Hassasiyet (Precision): Anomali olarak sınıflandırılan örnekler arasındaki gerçek anomali oranı.
- Duyarlılık (Recall): Gerçek anomaliler arasında doğru tespit edilen oran.

Operasyonel Kararlılık (Robustness):

- Eşik Duyarlılık Analizi: 1. ile 99. yüzdelerik dilim arasında 100 farklı eşik noktasında F1, hassasiyet, duyarlılık ve doğruluk metrikleri hesaplanmıştır.
- $F1 > 0.90$ Genişliği: F1 skorunun 0.90'ın üzerinde kaldığı yüzdelerik dilim aralığının genişliği. Bu metrik, modelin kabul edilebilir performans sergilediği eşik aralığını nicel olarak ifade etmektedir.
- $F1 > 0.95$ Genişliği: Daha sıkı bir performans koşulu altında stabil çalışma aralığı.

Sıfır-Gün Tespit Kapasitesi:

- Her sıfır-gün saldırı türü (ransomware, backdoor, injection, XSS) için ayrı ayrı tespit oranı hesaplanmıştır.

Hesaplama Verimliliği:

- Çıkarım Süresi (ms/örnek): 1000 test örneği üzerinde 10 tekrarlı ölçüm ile hesaplanan ortalama çıkarım süresi. İlk çalıştırma (warm-up) sonuçtan dışlanmıştır.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde TON_IoT Network veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçları sunulmakta; genel performans, sıfır-gün saldırı türü bazlı tespit başarımları ve eşik (threshold) kararlılığı/robustness analizleri ayrıntılı biçimde değerlendirilmektedir. Ayrıca önerilen Residual Autoencoder yaklaşımı, hem klasik temel yöntemlerle (Isolation Forest, LOF), hem de otokodlayıcı varyasyonları ile normalize edilmiş adil karşılaştırma kapsamında kapsamlı olarak karşılaştırılmaktadır.

3.1. Genel Performans Sonuçları

Tüm modellerin normalize edilmiş adil karşılaştırma çerçevesi altında elde ettiği sınıflandırma performans sonuçları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Modeller, test kümesi F1 skoruna göre azalan sırada listelenmiştir.

Çizelge 2 TON_IoT veri seti trafik türü dağılımı

Model	Tür	Test F1	Test AUC	Hassasiyet	Duyarlılık	Çıkarım (ms)
Het_Ensemble_AE	Topluluk	0.9883	0.9897	0.9928	0.9839	0.496
Residual_AE	Otokodlayıcı	0.9873	0.9857	0.9821	0.9926	0.187
Isolation Forest	Baseline	0.9829	0.8589	0.9689	0.9974	0.036
Deep_AE	Otokodlayıcı	0.9721	0.9845	0.9904	0.9546	0.147
Plain_AE	Otokodlayıcı	0.9574	0.9737	0.9904	0.9265	0.163
Enhanced_AE	Otokodlayıcı	0.9559	0.9643	0.9846	0.9288	0.127
LOF	Baseline	0.8965	0.9390	0.9897	0.8193	0.110

Çizelge 2’deki sonuçlar incelendiğinde, önerilen Residual Autoencoder modelinin 0.9873 test F1 skoru ile tekil otokodlayıcı modelleri arasında en yüksek performansı sergilediği görülmektedir. Het_Ensemble_AE modeli 0.9883 F1 skoru ile genel sıralamada ilk sırada yer almakla birlikte, Residual AE’ye göre sağladığı iyileşme yalnızca 0.0010 (mutlak) düzeyindedir.

Geleneksel yöntemler arasında Isolation Forest, 0.9829 test F1 skoru ile dikkat çekici bir performans sergilemiştir. Ancak bu modelin AUC değeri (0.8589), otokodlayıcı tabanlı modellerin önemli ölçüde gerisinde kalmaktadır. Bu bulgu, Isolation Forest’ın belirli bir optimal eşik noktasında yüksek sınıflandırma performansı sağlayabildiğini, ancak genel ayırt edicilik kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir. LOF modeli ise 0.8965 test F1 skoru ile en düşük performansı sergilemiştir; özellikle 0.8193 duyarlılık değeri, bu modelin anomalilerin önemli bir bölümünü kaçırdığına işaret etmektedir.

Model grubu düzeyinde istatistiksel karşılaştırma yapıldığında, otokodlayıcı tabanlı modellerin (ensemble dahil) ortalama test F1 skoru 0.9722 ± 0.0140 iken, baseline yöntemlerin ortalaması 0.9397 ± 0.0432 olarak hesaplanmıştır. Otokodlayıcı grubundaki düşük standart sapma (0.0140’a karşı 0.0432), derin öğrenme tabanlı yaklaşımların farklı mimari yapılandırmalar altında daha tutarlı performans sergilediğini ortaya koymaktadır. AUC metriğinde ise bu fark daha belirgin hâle gelmektedir: otokodlayıcı grubu ortalaması 0.9796 iken baseline grubu ortalaması 0.8990 olarak gerçekleşmiştir. AUC metriğindeki bu 0.0806 puanlık fark, eşik değerden bağımsız ayırt edicilik kapasitesinde derin öğrenme modellerinin açık üstünlüğünü yansıtmaktadır.

Hassasiyet-duyarlılık dengesine bakıldığında, ilgi çekici bir örüntü gözlemlenmektedir. Isolation Forest en yüksek duyarlılığa (0.9974) sahip olmasına karşın, hassasiyeti (0.9689) görece düşüktür; bu durum, modelin saldırıları kaçırmamak adına daha fazla yanlış pozitif

üretim eğiliminde olduğunu göstermektedir. Önerilen Residual AE ise hem yüksek hassasiyet (0.9821) hem de yüksek duyarlılık (0.9926) ile dengeli bir profil sunmaktadır.

3.2. Sıfır-Gün Saldırı Türü Bazlı Tespit Oranları

Modellerin dört farklı sıfır-gün saldırı türündeki tespit oranları Çizelge 3’te sunulmaktadır. Bu saldırı türlerinin hiçbirisi modellerin eğitim veya doğrulama aşamalarında kullanılmamış olup, sonuçlar tamamen bilinmeyen saldırılara karşı genelleme kapasitesini yansıtmaktadır.

Çizelge 5 Sıfır-gün saldırı türü bazlı tespit oranları (%)

Model	Ransomware	Backdoor	Injection	XSS	Ortalama
Het_Ensemble_AE	99.9	100.0	93.8	100.0	98.4
Residual_AE	99.9	100.0	97.2	100.0	99.3
Isolation Forest	100.0	99.1	99.9	99.9	99.7
Deep_AE	84.8	100.0	98.6	98.5	95.5
Plain_AE	99.9	100.0	70.9	99.9	92.7
Enhanced_AE	100.0	100.0	71.9	99.6	92.9
LOF	92.2	99.9	96.3	39.3	81.9

3.3. Eşik Değer Duyarlılık ve Operasyonel Kararlılık Analizi

Anomali tespiti sistemlerinin pratik uygulanabilirliği, yalnızca optimal eşik noktasındaki performansla değil, aynı zamanda farklı eşik değerlerindeki davranış kararlılığıyla da belirlenmektedir [17]. Gerçek dünya IoT dağıtımlarında, ağ trafiği profillerinin zamanla değişmesi, yeni cihazların ağa eklenmesi veya mevsimsel kullanım farklılıkları gibi faktörler, başlangıçta belirlenen eşik değerinin optimalliğini bozabilir. Bu nedenle, geniş bir eşik aralığında istikrarlı performans sergileyen modeller, operasyonel açıdan daha güvenilirdir. Bu bağlamda, tüm modeller için 1. ile 99. yüzdeler arası 100 farklı eşik noktasında sistematik duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4, operasyonel kararlılık metriklerini özetlemektedir.

Çizelge 4 Eşik değer duyarlılık ve operasyonel kararlılık analizi

Model	Maks. F1	F1 > 0.90 Aralığı	Genişlik	F1 > 0.95 Aralığı	Genişlik
Het_Ensemble_AE	0.9912	1.–27. yüzdeler	26	2.–18. yüzdeler	16
Residual_AE	0.9876	1.–27. yüzdeler	26	2.–18. yüzdeler	16
Deep_AE	0.9895	1.–27. yüzdeler	26	2.–18. yüzdeler	16
Plain_AE	0.9861	1.–26. yüzdeler	25	2.–18. yüzdeler	16
Enhanced_AE	0.9824	1.–25. yüzdeler	24	2.–17. yüzdeler	15

Model	Maks. F1	F1 > 0.90 Aralığı	Genişlik	F1 > 0.95 Aralığı	Genişlik
LOF	0.9810	1.–25. yüzdelerik	24	2.–8. yüzdelerik	6
Isolation Forest	0.9820	1.–13. yüzdelerik	12	2.–13. yüzdelerik	11

Çizelge 4’teki sonuçlar, çalışmanın en önemli bulgularından birini ortaya koymaktadır. Residual AE’nin $F1 > 0.90$ koşulunu sağladığı eşik aralığı (26 yüzdelerik dilim genişliği), Isolation Forest’ın aralığının (12 yüzdelerik dilim) 2.17 katıdır. Bu kararlılık farkının kök nedeni, modellerin anomali skor dağılımlarındaki ayrışma kalitesiyle doğrudan ilişkilidir. Otokodlayıcı tabanlı modeller, normal ve anomali sınıfları arasında geniş bir skor ayrımı oluşturarak farklı eşik noktalarında tutarlı performans sağlamaktadır. Buna karşın, Isolation Forest’ın anomali skorları daha dar bir bant içinde yoğunlaşmakta ve bu durum AUC değeriindeki düşüklükle (0.8589) tutarlı biçimde kendini göstermektedir.

3.4. Ablasyon Çalışması: Artık Bağlantıların ve Topluluk Yapısının Etkisi

Önerilen mimari tasarımdaki her bileşenin bireysel katkısını ölçmek amacıyla kontrollü bir ablasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada üç model karşılaştırılmıştır: (i) artık bağlantı içermeyen Plain AE (kontrol modeli), (ii) artık bağlantılı Residual AE (önerilen model) ve (iii) üç farklı darboğaz boyutuna sahip Residual AE’lerden oluşan Het_Ensemble_AE (topluluk modeli). Ablasyon sonuçları Çizelge 5’te özetlenmektedir.

Çizelge 5 Ablasyon çalışması sonuçları

Model	Mimari Fark	Test F1	Test AUC	F1 > 0.90 Genişlik	Çıkarım (ms)
Plain_AE	Temel mimari (kontrol)	0.9574	0.9737	25	0.163
Residual_AE	+ Artık bağlantılar	0.9873	0.9857	26	0.187
Het_Ensemble_AE	+ 3 model topluluğu	0.9883	0.9897	26	0.496

Plain AE’den Residual AE’ye geçişte test F1 skoru 0.9574’ten 0.9873’e yükselmiş olup bu, %3.13 oranında bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. AUC metriğinde ise 0.9737’den 0.9857’ye, yani 0.0120 puanlık bir artış gözlemlenmiştir. Her iki model de aynı katman sayısına, aynı nöron sayılarına, aynı düzenleme parametrelerine ve aynı eğitim yapılandırmasına sahip olup tek fark artık bağlantıların varlığıdır. Bu kontrollü karşılaştırma, gözlemlenen iyileşmenin doğrudan artık bağlantılardan kaynaklandığını kanıtlamaktadır.

Saldırı türü bazlı analiz, bu iyileşmenin kaynağını daha açık ortaya koymaktadır. En belirgin fark injection saldırılarında gözlemlenmiştir: Plain AE %70.9 tespit oranı sergilerken, Residual AE %97.2’ye ulaşmıştır. Bu bulgu, artık bağlantıların özellikle normal trafikle yüksek

benzerlik gösteren, dolayısıyla tespit edilmesi güç olan saldırı türlerinde kritik bir katkı sağladığını göstermektedir. Artık bağlantıların sağladığı gelişmiş gradyan akışı, modelin darboğaz katmanında daha ayrıntılı ve ayrıştırıcı normal trafik temsilleri öğrenmesine olanak tanımakta; bu da normal trafiğe benzer saldırıların dahi yüksek yeniden yapılandırma hatası üretmesini sağlamaktadır. Üç farklı darboğaz boyutuna (16, 24, 32) sahip Residual AE modellerinin ortalamasından oluşan topluluk yapısı, test F1 skorunu 0.9873’ten 0.9883’e yükseltmiştir. Bu, yalnızca %0.10 oranında marjinal bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. Buna karşın, çıkarım süresi 0.187 ms’den 0.496 ms’ye, yani yaklaşık 2.65 kat artış göstermiştir.

3.5. Hesaplama Verimliliği ve Doğruluk-Hız Dengesi

IoT ortamlarında dağıtılacak bir saldırı tespit sisteminin, yüksek doğruluğun yanı sıra düşük çıkarım gecikmesine de sahip olması gerekmektedir. Residual AE, Isolation Forest’a kıyasla 5.2 kat daha yavaş olmakla birlikte, bu süre (0.187 ms/örnek) gerçek zamanlı ağ trafiği analizi için kabul edilebilir düzeydedir. Saniyede yaklaşık 5.300 ağ akışının işlenebileceği bu hız, tipik IoT ağ geçidi trafiği için yeterli bir kapasite sunmaktadır. Het_Ensemble_AE’nin çıkarım süresi (0.496 ms) ise tekil Residual AE’ye göre 2.65 kat fazla olmasına karşın yalnızca 0.0010 F1 iyileşmesi sağlamaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, IoT ağlarında sıfır-gün saldırılarının tespiti için artık bağlantılara (residual connections) sahip bir otokodlayıcı mimarisi önerilmiş ve kapsamlı bir deneysel değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Yarı-gözetimli anomali tespiti paradigması benimsenerek, model yalnızca normal trafik verileriyle eğitilmiş ve daha önce hiç karşılaşmadığı dört farklı sıfır-gün saldırı türü (ransomware, backdoor, injection, XSS) üzerinde test edilmiştir. TON_IoT veri seti üzerinde yürütülen deneylerden elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmektedir.

Artık bağlantılar anomali tespiti performansını anlamlı düzeyde artırmaktadır. Kontrollü ablasyon çalışması, artık bağlantıların standart otokodlayıcıya kıyasla test F1 skorunu %3.13 oranında iyileştirdiğini ortaya koymuştur (Plain AE: 0.9574 → Residual AE: 0.9873). Saldırı türü bazlı analizde en belirgin iyileşme, normal trafikle yüksek benzerlik gösteren injection saldırılarında gözlemlenmiştir (Plain AE: %70.9 → Residual AE: %97.2). Bu sonuç, artık bağlantıların sağladığı gelişmiş gradyan akışının, modelin darboğaz katmanında daha ayrıştırıcı normal trafik temsilleri öğrenmesine olanak tanıdığını göstermektedir.

Önerilen model, eşik-bağımsız ayırt edicilik kapasitesinde geleneksel yöntemlere belirgin üstünlük sağlamaktadır. Residual AE’nin AUC değeri (0.9857), en iyi baseline model olan Isolation Forest’ın AUC değerini (0.8589) 0.1268 puan ile geride bırakmıştır. F1 metriğindeki

fark (0.9873'e karşı 0.9829, +0.0044) mütevazı düzeyde olmasına karşın, AUC metriğindeki bu büyük fark, Residual AE'nin normal ve anomali sınıfları arasında çok daha net bir skor ayrımı oluşturduğunu ve bu üstünlüğün belirli bir eşik noktasına bağımlı olmadığını kanıtlamaktadır.

Residual AE, operasyonel kararlılık açısından geleneksel yöntemlerden önemli ölçüde üstündür. Eşik duyarlılık analizi, Residual AE'nin $F1 > 0.90$ koşulunu sağladığı eşik aralığının (26 yüzdelik dilim) Isolation Forest'ın aralığının (12 yüzdelik dilim) 2.17 katı olduğunu ortaya koymuştur. Bu 14 yüzdelik dilimlik fark, Residual AE'nin farklı eşik değerlerinde tutarlı performans sergileyebildiğini ve dolayısıyla değişken IoT ortamlarında daha güvenilir bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Gerçek dünya IoT dağıtımlarında ağ trafiği profillerinin zamanla kaçınılmaz biçimde değiştiği göz önünde bulundurulduğunda, bu operasyonel kararlılık üstünlüğü pratik açıdan kritik bir avantaj teşkil etmektedir.

Topluluk yapısı marjinal iyileşme karşılığında önemli hesaplama maliyeti getirmektedir. Heterojen Ensemble AE, Residual AE'ye göre yalnızca %0.10 F1 iyileşmesi sağlarken çıkarım süresini 2.65 kat artırmıştır (0.187 ms $\rightarrow$ 0.496 ms). Bu sonuç, kaynak kısıtlı IoT ortamlarında tekil Residual AE modelinin doğruluk-verimlilik dengesi açısından optimum çözüm olduğunu göstermektedir.

Normalize edilmiş adil karşılaştırma çerçevesi, mimari tasarım kararlarının etkisini izole etmekte etkili olmuştur. Tüm modellerin aynı düzenleme parametreleri (Gaussian Noise $\sigma = 0.01$, Dropout $p = 0.1$, darboğaz boyutu $d = 24$) altında değerlendirildiği bu çerçeve, gözlemlenen performans farklılıklarının hiperparametre optimizasyonundan değil, doğrudan mimari farklılıklardan kaynaklandığını güvence altına almıştır. Bu yaklaşımın, anomali tespiti literatüründeki karşılaştırma çalışmalarının metodolojik güvenilirliğine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma artık bağlantılı otkodlayıcıların IoT ağlarında sıfır-gün saldırı tespiti için etkin bir çözüm sunduğunu deneysel olarak kanıtlamıştır. Önerilen Residual AE modeli, yüksek tespit doğruluğu ($F1 = 0.9873$), güçlü eşik-bağımsız ayırt edicilik kapasitesi ($AUC = 0.9857$), geniş operasyonel kararlılık aralığı (26 yüzdelik dilim) ve kabul edilebilir çıkarım süresi (0.187 ms/örnek) ile gerçek zamanlı IoT güvenlik sistemleri için uygulanabilir ve güvenilir bir mimari alternatif olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The Internet of Things: A survey,” *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, pp. 2787–2805, 2010.
- [2] S. Sicari, A. Rizzardi, L. A. Grieco, and A. Coen-Porisini, “Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead,” *Computer Networks*, vol. 76, pp. 146–164, 2015.
- [3] M. A. Khan and K. Salah, “IoT security: Review, blockchain solutions, and open challenges,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 82, pp. 395–411, 2018.
- [4] Khraisat, A., Gondal, I., Vamplew, P., & Kamruzzaman, J. (2019). Survey of intrusion detection systems: Techniques, datasets and challenges. *Cybersecurity*, 2(1), 1–22.
- [5] Hindy, H., Brosset, D., Bayne, E., Seeam, A. K., Tachtatzis, C., Atkinson, R., & Bellekens, X. (2020). A taxonomy of network threats and the effect of current datasets on intrusion detection systems. *IEEE Access*, 8, 104650–104675.
- [6] R. Sommer and V. Paxson, “Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection,” in *Proc. IEEE Symposium on Security and Privacy*, 2010, pp. 305–316.
- [7] V. Chandola, A. Banerjee, and V. Kumar, “Anomaly detection: A survey,” *ACM Computing Surveys*, vol. 41, no. 3, 2009.
- [8] Y. Sakurada and T. Yairi, “Anomaly Detection Using Autoencoders with Nonlinear Dimensionality Reduction,” in *Proc. MLSDA*, 2014.
- [9] S. Saito and M. Rehmsmeier, “The Precision-Recall Plot Is More Informative than the ROC Plot When Evaluating Binary Classifiers on Imbalanced Datasets,” *PLOS ONE*, 2015.
- [10] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep Residual Learning for Image Recognition,” in *Proc. CVPR*, 2016.
- [11] N. Moustafa, “TON_IoT: The Realistic Internet of Things Dataset for Cybersecurity Analytics,” (TON_IoT veri seti makalesi/raporu), 2019/2020.
- [12] Sommer, R., & Paxson, V. (2010). Outside the closed world: On using machine learning for network intrusion detection. In *2010 IEEE Symposium on Security and Privacy* (pp. 305–316). IEEE.
- [13] Zheng, A., & Casari, A. (2018). *Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques for Data Scientists*. O'Reilly Media.
- [14] Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., ... & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- [15] An, J., & Cho, S. (2015). Variational autoencoder based anomaly detection using reconstruction probability. *Special Lecture on IE*, 2(1), 1–18.
- [16] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). IEEE.
- [17] Emmott, A. F., Das, S., Dietterich, T., Fern, A., & Wong, W. K. (2015). A meta-analysis of the anomaly detection problem. *arXiv preprint arXiv:1503.01158*.

KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÜRÜN TASARIMINDA EKLEMELİ İMALAT VE KULLANICI DENEYİMİ

Dr. Öğr. Üyesi Neslihan TOP

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği,

neslihantop@gazi.edu.tr, 0000-0002-0771-6963

ÖZET

Kullanıcı beklentilerinin çeşitlenmesi ve bireysel gereksinimlerin giderek daha belirgin hâle gelmesi, ürün tasarım süreçlerinde kişiselleştirme odaklı yaklaşımların önemini artırmıştır. Bu eğilim doğrultusunda, son yıllarda kişiselleştirilmiş ürün tasarımı, hem tasarım hem de mühendislik disiplinlerinde yoğun biçimde ele alınan bir araştırma alanı hâline gelmiştir. Özellikle yüksek tasarım özgürlüğü, hızlı prototipleme imkânı ve düşük hacimli üretim avantajları sunan Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing - AM) teknolojileri, kullanıcı deneyimi merkezli tasarım yaklaşımlarının uygulanmasında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcı odaklı tasarım ilkeleri doğrultusunda geliştirilen kişiselleştirilmiş ürünler, yalnızca teknik gereksinimleri karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda ergonomik uyum, estetik değer ve duygusal tatmin gibi kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen unsurları da kapsamaktadır. Bu bağlamda, AM teknolojilerinin sunduğu esneklik, kullanıcı ihtiyaçlarına hızlı ve etkili yanıt verebilen tasarım çözümlerinin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, kişiselleştirilmiş ürün tasarımında AM teknolojileri ile kullanıcı deneyimi arasındaki ilişkiyi ele alan mevcut akademik literatürü kapsamlı ve bütüncül bir perspektifle incelemektir. Çalışma sürecinde, öncelikle AM teknolojilerinin kişiselleştirilmiş tasarım süreçlerindeki konumu ve farklı sektörlerdeki uygulama örnekleri değerlendirilmiş, ardından kullanıcı deneyimi odaklı yaklaşımların bu teknolojilerle nasıl entegre edildiği analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, AM teknolojilerinin kullanıcı katılımını artırarak iteratif tasarım süreçlerini desteklediğini ve bu sayede kişiselleştirilmiş ürünlerin kullanıcı memnuniyeti üzerinde olumlu etkiler yarattığını göstermektedir. Bununla birlikte, kullanıcı deneyiminin sistematik olarak değerlendirilmesine yönelik standart yöntemlerin sınırlı olması ve üretim sürecine bağlı algısal farklılıklar, mevcut çalışmaların karşılaştığı temel zorluklar arasında yer

almaktadır. Bu çalışma, söz konusu sınırlılıkları ortaya koyarak gelecekte yapılacak araştırmalar için yol gösterici bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli imalat, kişiselleştirilmiş ürün tasarımı, kullanıcı deneyimi, kullanıcı odaklı tasarım

1. GİRİŞ

Dijitalleşme, küresel rekabet ve değişen tüketici beklentileri, ürün geliştirme süreçlerinde köklü dönüşümlere yol açmıştır [1]. Günümüz kullanıcıları yalnızca işlevsel gereksinimlerini karşılayan ürünler değil, aynı zamanda bireysel tercihlerini, kimliklerini ve deneyimsel beklentilerini yansıtan çözümler talep etmektedir. Endüstriyel üretim, bir ulusun ekonomik zenginliğinin temel bileşenlerinden biri olup tarihsel olarak teknolojiyle yönlendirilmiş, el işçiliğine dayalı üretimden kitlesel üretime, yalın üretime ve nihayetinde kitlesel özelleştirme anlayışına doğru evrilmiştir [2]. Kitlesel özelleştirme stratejileri, kitlesel kişiselleştirme üretim teknolojilerindeki güncel gelişmeleri kullanarak tekil kullanıcı odaklı ürünlerin geliştirilmesini mümkün kılmaktadır [3,4]. Kitlesel bireyselleştirme olarak da adlandırılan bu yaklaşım, ürün tasarım süreçlerinde geleneksel yöntemlerden farklı, daha esnek ve kullanıcı merkezli bir tasarım anlayışını gerektirmektedir [5].

Kişiselleştirilmiş ürün tasarımı, kullanıcı ihtiyaçlarının derinlemesine anlaşılmasını ve bu ihtiyaçlara uygun teknik çözümlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda kişiselleştirme, son kullanıcı deneyiminin tasarımında kullanılan çeşitli teknoloji ve uygulama bileşenlerini içeren bütüncül bir araç kutusu olarak değerlendirilmektedir [6]. Bilgi ve üretim teknolojilerindeki gelişmeler, ürünlerin artan düzeyde bilgi yoğun ve bireysel gereksinimlere uyarlanabilir nitelik kazanmasını mümkün kılmıştır. Bu dönüşüm, kullanıcıların tasarım uzmanlığına sahip olmaksızın ortak yaratım süreçlerine daha etkin ve sistematik biçimde katılım göstermesine olanak tanımaktadır [7]. Bu noktada kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımı, ürün geliştirme süreçlerinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Bu yaklaşımın etkin biçimde uygulanabilmesi ise tasarım esnekliği yüksek ve düşük hacimli üretime imkân tanıyan üretim teknolojilerinin varlığını gerektirmektedir. Bu nedenle, kişiselleştirilmiş tasarım yaklaşımlarının üretim teknolojileriyle entegrasyonu önemli bir araştırma alanı hâline gelmiştir.

Geleneksel imalat yöntemleri, yüksek kalıp maliyetleri ve ölçek ekonomisine dayalı yapıları nedeniyle düşük hacimli ve yüksek çeşitlilik içeren üretim senaryolarında sınırlı esneklik sunmaktadır [8]. Buna karşılık Eklemeli İmalat (Additive Manufacturing - AM) teknolojileri, karmaşık geometrilerin üretimi, tasarım özgürlüğü ve kalıpsız üretim avantajları sayesinde kişiselleştirme uygulamalarında güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır [9]. Bu teknolojik olanakların etkisiyle ürün kişiselleştirme, tüketicilerin kişisel tercihlerini, kimliklerini ve işlevsel gereksinimlerini yansıtan çözümlere yönelik artan talepleri doğrultusunda giderek daha fazla akademik ve endüstriyel ilgi görmektedir [10].

Bu çalışma, AM teknolojilerinin sunduğu üretim esnekliği ile kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımlarının kişiselleştirilmiş ürün geliştirme süreçlerindeki etkileşimini bütüncül bir çerçevede ele almayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, farklı sektörlerde AM tabanlı kişiselleştirme uygulamalarını konu alan güncel akademik çalışmalar sistematik biçimde incelenerek, kullanıcı deneyimi, kullanıcı katılımı ve tasarım süreci entegrasyonu açısından ortak eğilimler, fırsatlar ve sınırlılıklar ortaya konmaktadır. Çalışmanın yenilikçi yönü, AM destekli kişiselleştirilmiş ürün tasarımını kullanıcı deneyimi, etkileşim tasarımı ve kullanıcı katılımı boyutlarını birlikte ele alan bütüncül bir çerçeve içinde değerlendirmesidir. Bu kapsamda, mevcut literatürde dağınık biçimde ele alınan kavramsal yaklaşımlar ve uygulama örnekleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2. KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ÜRÜN TASARIMINDA EKLEMELİ İMALAT

AM teknolojilerinin gelişimi, geleneksel üretim yöntemlerinin yapısal kısıtlarını önemli ölçüde azaltarak kişiselleştirme uygulamalarında yeni olanaklar yaratmıştır. AM, yüksek tasarım serbestisi, karmaşık geometrilerin üretimi ve kalıp gereksinimi olmaksızın düşük hacimli üretim imkânı sayesinde kişiselleştirilmiş üretim süreçlerinde dönüştürücü bir rol üstlenmektedir [11]. Bu doğrultuda literatürde, AM'nin kişiselleştirilmiş ürün tasarımına katkıları, kullanıcı değeri, tasarım metodolojisi, üretim sistemleri, uygulama alanları ve sürdürülebilirlik boyutları üzerinden çok yönlü biçimde ele alınmaktadır.

Öncelikle kullanıcı algısı ve değer boyutlarına odaklanan çalışmalar dikkat çekmektedir. Taha vd. (2025), AM destekli kişiselleştirme uygulamalarında algılanan değeri çok boyutlu olarak incelemiş ve işlevsel faydanın ödeme istekliliği üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur

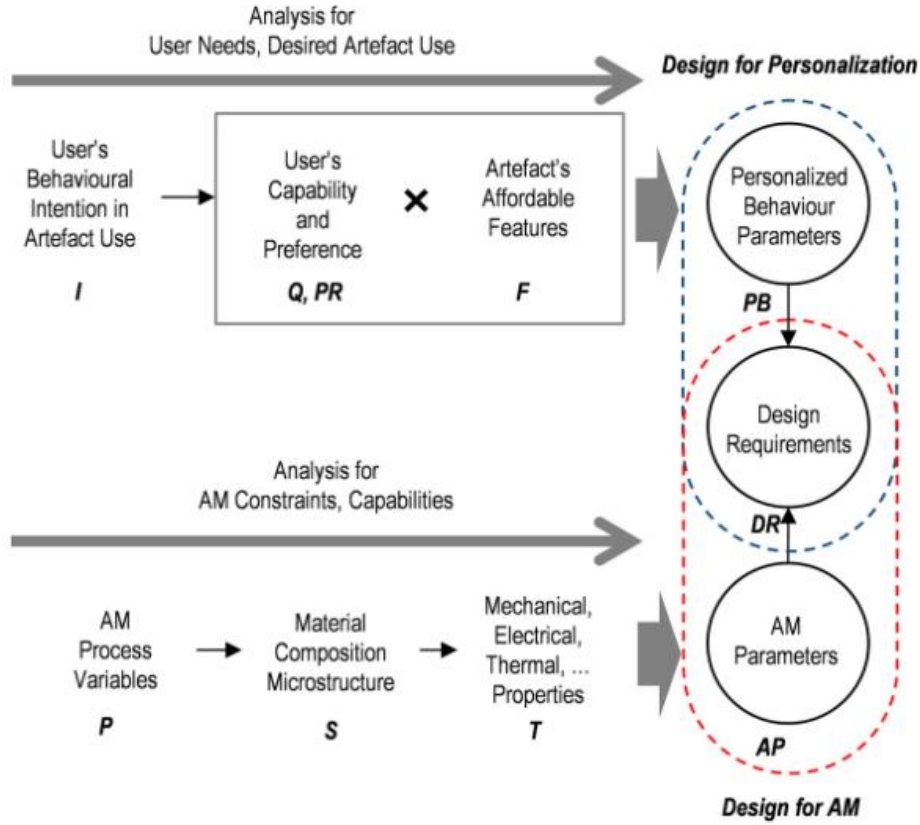
[10]. Deneyimsel ve duygusal değer boyutlarının ise kullanıcı katılımını desteklemekle birlikte ekonomik kararlar üzerindeki etkisinin görece sınırlı olduğu belirtilmiştir. Benzer şekilde, Turner & Oyekan (2023) dijital üretim teknolojilerinin müşterilerle ortak tasarım süreçlerini güçlendirerek kitlesel kişiselleştirmeyi yaygınlaştırdığını vurgulamıştır. Ayrıca, 3B baskı teknolojilerinin döngüsel ekonomi ilkeleriyle uyumlu biçimde yüksek düzeyde kişiselleştirme sağladığı ifade edilmiştir [12].

Üretim paradigmalarının dönüşümüne odaklanan çalışmalar ise AM'nin daha geniş ölçekli sistem entegrasyonuna işaret etmektedir. Guo vd. (2020), Endüstri 4.0 bağlamında dijital ikiz, blokzincir ve AM temelli müşteri odaklı bir kişiselleştirilmiş üretim çerçevesi önermiştir [13]. Bu yaklaşımı operasyonel düzeyde ele alan Kang vd. (2018) ise 3B yazıcı tabanlı, dağıtık üretimi mümkün kılan hizmet olarak fabrika modelini geliştirerek AM'nin kitlesel kişiselleştirme için uygulanabilirliğini göstermiştir [14]. Ayrıca, Kumar vd. (2023), AM'nin stok ihtiyacını azaltması, karmaşık geometrileri ek maliyet oluşturmada üretilebilmesi ve talep odaklı üretimi desteklemesi sayesinde endüstriyel rekabet gücünü artırdığını belirtmiştir [15].

Tasarım kuramı ve metodolojisi bağlamında ise AM'nin geleneksel tasarım yaklaşımlarını dönüştürdüğü görülmektedir. Lachmayer vd. (2016), parti büyüklüğü ile kişiselleştirme derecesi arasındaki ilişkiyi matris tabanlı bir sınıflandırma ile analiz ederek AM için uygun uygulama alanlarını tanımlamıştır [16]. Ko vd. (2015) ise AM destekli kişiselleştirme için biçimsel bir tasarım yaklaşımı geliştirerek kullanıcı-ürün etkileşimini sonlu durum otomatları ve hedef odaklı davranış modelleri üzerinden sistematik biçimde tasarım gereksinimlerine bağlamıştır [17]. Önerilen yaklaşımın genel çerçevesi Şekil 1'de verilmiştir. Bu çalışmalar, AM'nin yalnızca üretim değil, aynı zamanda tasarım sürecini de yeniden yapılandırıldığını göstermektedir.

Uygulama alanları incelendiğinde, biyomedikal sektörün öne çıktığı görülmektedir. Pathak vd. (2023), 3B baskının kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarında hasta özgü implant, protez ve ilaç salım sistemleri geliştirilmesine katkı sağladığını belirtirken, biyouyumluluk ve mevzuat gibi sınırlılıkların devam ettiğini vurgulamıştır [18]. Benzer biçimde Wu vd. (2025), ortopedik implant tasarımında AM'nin hasta anatomisine özgü yüksek hassasiyet sağladığını ve klinik sonuçları iyileştirdiğini ortaya koymuştur [19]. Kumar vd. (2023) da biyomedikal implantlar başta olmak üzere otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde kişiselleştirilmiş uygulama örneklerini kapsamlı biçimde değerlendirmiştir [15]. Sonuç olarak, literatür AM'nin kişiselleştirilmiş ürün

tasarımında hem kullanıcı değeri yaratma hem de üretim ve tasarım süreçlerini yeniden yapılandırma açısından stratejik bir teknoloji olduğunu ortaya koymaktadır.

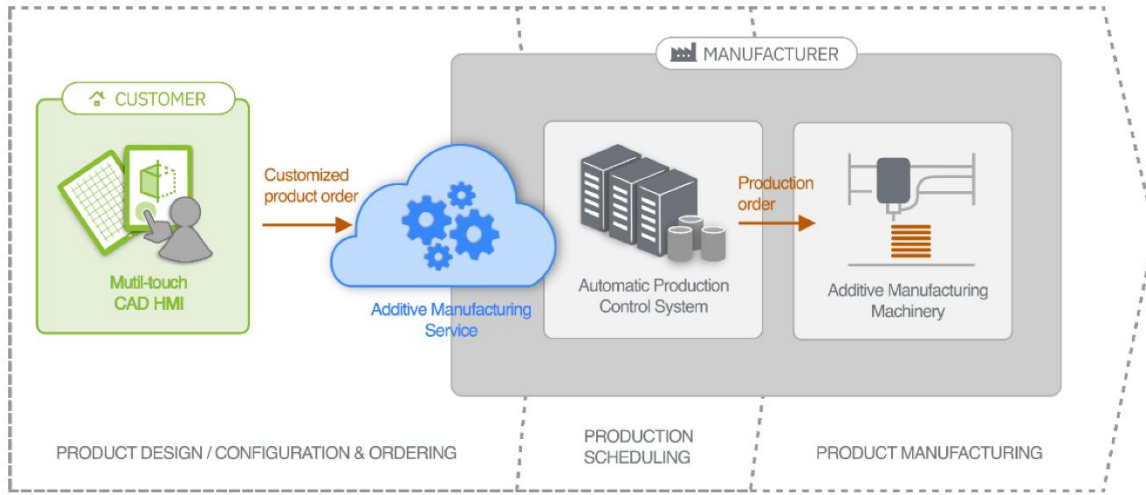


Şekil 1. Ko vd. (2015) tarafından önerilen AM destekli kişiselleştirme için tasarım yaklaşımının genel çerçevesi [17]

3. KİŞİSELLEŞTİRME STRATEJİSİ OLARAK EKLEMELİ İMALAT İÇİN KULLANICI ODAKLI TASARIM

AM teknolojileri, sunduğu tasarım serbestliği ve üretim esnekliği sayesinde kişiselleştirilmiş ürün geliştirme yaklaşımlarını dönüştürmüştür; ancak bu potansiyelin etkin biçimde değerlendirilebilmesi, kullanıcı ihtiyaç ve deneyimlerinin tasarım sürecine sistematik olarak entegre edilmesini gerekli kılmıştır. Bu bağlamda kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımları, AM tabanlı kişiselleştirme stratejilerinin yalnızca üretilebilirlik değil, aynı zamanda etkileşim, ergonomi ve deneyim boyutlarıyla birlikte ele alınmasını mümkün kılan bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

Bu çerçevede, kullanıcıyı tasarım sürecinin aktif bir bileşeni hâline getirmeyi amaçlayan etkileşimli arayüz çözümleri öne çıkmaktadır. Rodriguez-Conde & Campos (2020), AM süreçlerinde tasarım aşamasını hızlandırarak kişiselleştirilmiş üretimi daha verimli hâle getirmeyi hedeflemiş ve geleneksel CAD arayüzlerinin uzman bağımlılığı ve zaman kaybı yaratması probleminden hareketle, müşteriye doğrudan tasarım sürecine dâhil eden çoklu dokunmatik insan-makine arayüzü geliştirmiştir (Şekil 2) [20]. Mobilya üretimi örneğinde, özel dolap tasarımına yönelik CAD benzeri bir yazılım prototipi üzerinden gerçekleştirilen laboratuvar ve uzaktan kullanıcı testleri, önerilen arayüzün masaüstü tabanlı geleneksel arayüzlere kıyasla daha yüksek kullanıcı memnuniyeti ve performans sağladığını göstermiştir.

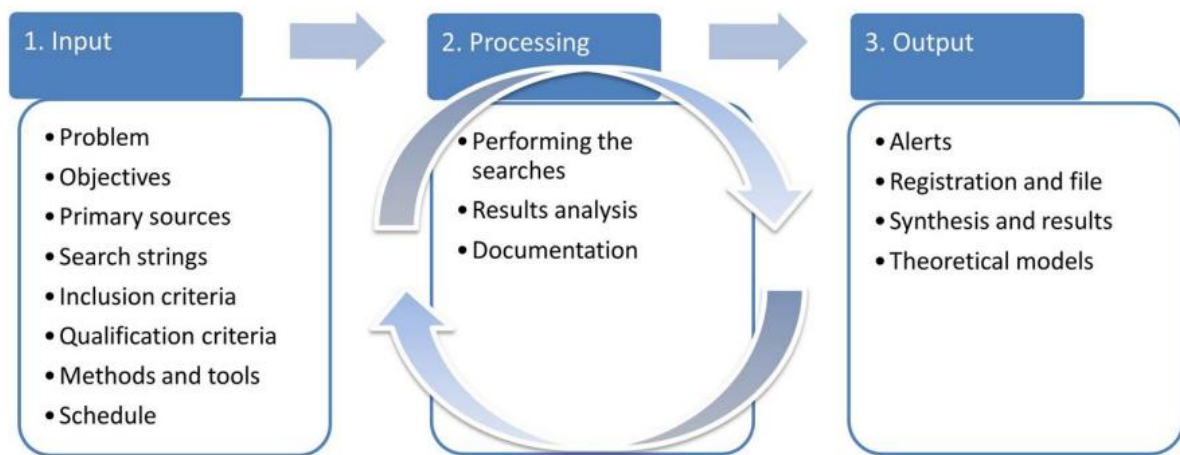


Şekil 2. Rodriguez-Conde & Campos (2020) tarafından geliştirilen müşteriye doğrudan tasarım sürecine dahil eden çoklu dokunmatik insan-makine arayüzü [20]

Benzer şekilde, tasarım sürecinde artan karmaşıklığın yönetilmesine odaklanan çalışmalar, kullanıcı etkileşimini sistematik mühendislik yaklaşımlarıyla bütünleştirmeye yönelmiştir. Ko vd. (2016), AM'nin sunduğu tasarım serbestisinin geleneksel özelleştirme yaklaşımlarını yetersiz bırakması probleminden hareketle, etkileşimli ve kişiselleştirilebilir ürünler için kullanıcı merkezli bir tasarım metodolojisi geliştirmiştir [21]. Önerilen yaklaşım, AM için tasarım ve özelleştirme için tasarım paradigmalarını üç bağlantı zinciri modeli çerçevesinde bütünleştirirken, kullanıcı davranışlarını ve tercihlerini yansıtan sonlu durum otomatları ile dinamik kullanıcı-ürün etkileşimini modele dâhil etmektedir. Bu yönüyle çalışma, kullanıcıyı yalnızca geri bildirim veren bir aktör olarak değil, tasarım mantığının kurucu bir bileşeni olarak ele almaktadır. Bu tür kullanıcı odaklı yaklaşımların yalnızca ürün geliştirme pratikleriyle sınırlı kalmadığı, aynı zamanda eğitim süreçlerine de yansıdığı görülmektedir. Arce vd. (2024),

proje tabanlı öğrenme sürecinde karşılaşılan uygulama zorluklarını aşmak amacıyla Human Centered Design (HCD) ve Design Sprint (DS) yaklaşımlarını bütünleştiren bir eğitim modeli önermiştir [22]. Mühendislik çizimi dersi kapsamında, hizmet-öğrenimi temelli bir uygulama tasarlanmış ve yüz yüze ile uzaktan öğrenme ortamlarına uyarlanmıştır. Geliştirilen prototiplerin öz değerlendirme, akran değerlendirmesi ve öğretici değerlendirmesi yoluyla analiz edilmesi sonucunda, bütünleşik HCD-DS yaklaşımının kullanıcı odaklı çözüm geliştirme, zaman yönetimi ve etkileşimli öğrenme ortamı oluşturma açısından olumlu çıktılar sunduğu ortaya konmuştur. Bu bulgular, AM tabanlı kişiselleştirme yaklaşımlarının sürdürülebilir biçimde yaygınlaşabilmesi için kullanıcı odaklı düşünme becerilerinin erken aşamada kazandırılmasının önemine işaret etmektedir.

Eğitim boyutunun ötesinde, özellikle sağlık ve yardımcı teknolojiler alanında kullanıcı katılımının daha karmaşık ve çok boyutlu gereksinimleri kapsadığı görülmektedir. Santos & Silveira (2021), kullanıcı katılımı, tasarım metodolojileri ve 3B baskı desteği çerçevesinde yardımcı teknolojik cihazların tasarım süreçlerini haritalamıştır (Şekil 3). Çalışmada, üç aşamalı literatür taraması ve içerik analizi sonucunda belirlenen 30 yaklaşımı tasarım aşamaları, kullanılan yöntem ve teknikler ile değerlendirme araçları açısından sınıflandırılmıştır [23]. Bulgular, özellikle kavramsal tasarım evresinde yöntem ve teknik kullanımına ilişkin önemli bir boşluk bulunduğunu ve yenilik ile işlevselliğin en fazla katma değer yaratabileceği bu aşamanın yeterince yapılandırılmadığını göstermektedir.



Şekil 3. Santos & Silveira (2021) tarafından geliştirilen yol haritası planı [23]

Bu yapısal boşluğa yanıt olarak, kullanıcı odaklı tasarımın dijital teknolojilerle bütünleştiği güncel yaklaşımlar dikkat çekmektedir. Ansari vd. (2025), Kullanıcı odaklı tasarımın AM ile yapay zekâ tabanlı antropometrik ve biyomekanik veri entegrasyonu sayesinde önemli ölçüde geliştiğini ortaya koymaktadır [24]. Endüstri 4.0 ve 5.0 perspektifinde ele alınan bu bütünleşik yaklaşım, kullanıcı ihtiyaç ve fiziksel özelliklerine uyumlu çözümlerin daha hızlı ve isabetli biçimde geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Hastaneler için patojen temasını azaltmaya yönelik temassız kapı kolu ve ergonomiyi artıran tıg sapı tasarımlarında, el antropometrik verilerinin doğrudan tasarım girdisi olarak kullanılması, AM tabanlı kişiselleştirmenin hijyen, ergonomi ve deneyim boyutlarını birlikte ele alabileceğini göstermektedir.

Kullanıcı deneyimi boyutunun yalnızca geometrik ve ergonomik uyarlamalarla sınırlı kalmadığı, aynı zamanda malzeme kararlarıyla da yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda Balderrama-Armendariz vd. (2025), AM’de malzeme seçiminin çoğunlukla işlevsel gereksinimlere dayandırılması nedeniyle kullanıcı deneyimi boyutunun ihmal edilmesine odaklanmıştır [25]. Polimer toz yatağı füzyon sürecinden elde edilen atık malzeme karışımının Material Driven Design metodolojisi ile değerlendirildiği çalışmada, Goodness of Fit, ikili karşılaştırma ve ANOVA gibi istatistiksel araçlar kullanılarak 42 katılımcıdan elde edilen deneyimsel veriler analiz edilmiştir. Bulgular doğrultusunda ürünler sekiz farklı ailede sınıflandırılmış ve 36 potansiyel tasarım önerisi geliştirilmiştir; bunlardan biri bağlayıcı püskürtme teknolojisi ile üretilmiştir. Bu çalışma, sürdürülebilir malzeme kullanımının kullanıcı deneyimi ile bütünleştirilmesinin, AM tabanlı ürünlerde algısal ve deneyimsel değeri artırabileceğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

Tüm bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, AM tabanlı kişiselleştirme stratejilerinde kullanıcı odaklı tasarımın, etkileşimli arayüzler [20], kullanıcı-ürün etkileşimini modelleyen metodolojiler [21], eğitimde kullanıcı merkezli yaklaşımlar [22], sağlık ve yardımcı teknolojilerde veri temelli uyarlamalar [23,24] ve malzeme deneyimi boyutunun entegrasyonu [25] üzerinden çok katmanlı bir yapı kazandığı görülmektedir. Bununla birlikte, özellikle kavramsal tasarım aşamasında kullanıcı odaklı yöntemlerin sistematik biçimde yapılandırılmasına yönelik boşlukların sürdüğü ve malzeme-geometri-kullanıcı deneyimi ilişkisinin bütünleşik tasarım çerçeveleri içinde daha güçlü biçimde ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, gelecekte geliştirilecek AM tabanlı kişiselleştirme yaklaşımlarının, etkileşimli arayüzler, veri temelli antropometrik uyarlama, deneyim odaklı

malzeme seçimi ve eğitimle desteklenen kullanıcı katılımını bütünleştiren kapsamlı tasarım stratejilerine dayanması önerilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, kişiselleştirilmiş ürün tasarımında AM teknolojileri ile kullanıcı deneyimi arasındaki ilişkiyi ele alan literatürden elde edilen bulgular tematik bir çerçevede sentezlenmiş ve eleştirel olarak tartışılmıştır. İncelenen çalışmalar, AM'nin sunduğu teknik olanakların kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımları ile bütünleştğinde kişiselleştirilmiş ürünlerin değer önerisini güçlendirdiğini, ancak bu bütünleşmenin yöntemsel, örgütsel ve deneyimsel düzeylerde çeşitli sınırlılıklar barındırdığını ortaya koymaktadır. Bulgular, kullanıcı değeri ve algılanan fayda, tasarım ve üretim süreçlerinin dönüşümü, kullanıcı katılımı ve etkileşim tasarımı, sektörlere özgü uygulama dinamikleri ve sürdürülebilirlik, malzeme, deneyim ilişkisi başlıkları altında tartışılmaktadır.

İlk olarak, AM destekli kişiselleştirmenin kullanıcı değeri üzerindeki etkisi incelendiğinde, algılanan değerın çok boyutlu bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Taha vd. (2025), işlevsel faydanın ödeme istekliliği üzerinde belirleyici olduğunu, deneyimsel ve duygusal boyutların ise kullanıcı katılımını desteklemekle birlikte ekonomik kararlar üzerindeki etkisinin görece sınırlı kaldığını ortaya koymuştur [10]. Bu bulgu, kişiselleştirmenin yalnızca özgünlük veya duygusal bağ üretmekten ibaret olmadığını, özellikle endüstriyel bağlamda işlevsel performans ve fayda algısının merkezi rolünü koruduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, Turner & Oyekan (2023), dijital üretim teknolojilerinin ortak tasarım süreçlerini güçlendirerek kitlesel kişiselleştirmeyi yaygınlaştırdığını ve 3B baskının döngüsel ekonomi ile uyumlu biçimde değer üretebildiğini vurgulamaktadır [12]. Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, AM tabanlı kişiselleştirmenin kullanıcı değerini artırabilmesi için işlevsel faydayı garanti altına alırken, deneyimsel ve duygusal boyutları destekleyici bir katman olarak ele alması gerektiği anlaşılmaktadır.

Üretim ve sistem entegrasyonu perspektifinden bakıldığında, AM'nin yalnızca üretim tekniği değil, aynı zamanda dijitalleşme temelli yeni üretim paradigmalarının bir bileşeni olarak konumlandığı görülmektedir. Guo vd. (2020), Endüstri 4.0 çerçevesinde dijital ikiz, blokzincir ve AM tabanlı müşteri odaklı bir kişiselleştirilmiş üretim modeli önermiştir [13]. Bu yaklaşım,

kişiselleştirmenin uçtan uca dijital altyapılarla bütünleşmesi gerektiğine işaret etmektedir. Kang vd. (2018) tarafından geliştirilen hizmet olarak fabrika modeli ise AM'nin dağıtık üretim altyapıları içinde ölçeklenebilir biçimde konumlandırılabilceğini göstermektedir [14]. Kumar vd. (2023) da AM'nin stok ihtiyacını azaltması ve talep odaklı üretimi mümkün kılması sayesinde endüstriyel rekabet gücünü artırdığını belirtmektedir [15]. Bu bulgular, kişiselleştirilmiş üretimin yalnızca ürün düzeyinde değil, üretim sistemleri ve tedarik zinciri düzeyinde de dönüşüm gerektirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu tür dijital ve dağıtık üretim modellerinin uygulanabilirliği, veri güvenliği, standardizasyon ve kalite güvencesi gibi konularda yeni yönetsel ve teknik sorunları da beraberinde getirmektedir.

Tasarım metodolojisi boyutunda elde edilen bulgular, AM'nin kişiselleştirilmiş ürün tasarımında yalnızca üretilebilirlik sınırlarını genişletmekle kalmadığını, aynı zamanda tasarım düşüncesinin yapısını dönüştürdüğünü ortaya koymaktadır. Lachmayer vd. (2016), parti büyüklüğü ile kişiselleştirme derecesi arasındaki ilişkiyi sistematik olarak sınıflandırarak AM için uygun uygulama alanlarını tanımlamıştır [16]. Ko vd. (2015) ve Ko vd. (2016) ise kullanıcı-ürün etkileşimini sonlu durum otomatları ve hedef odaklı davranış modelleri üzerinden biçimsel bir tasarım çerçevesine dönüştürmüştür [17,21]. Bu çalışmalar, kişiselleştirmenin sezgisel tercihlerden ziyade sistematik tasarım kararlarına dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu tür biçimsel modellerin pratikte uygulanabilirliği, model kurma ve güncelleme gereksinimleri nedeniyle ek uzmanlık yükü doğurmaktadır. Bu durum, kullanıcıyı sürece daha fazla dâhil etmeyi hedefleyen yaklaşımlarla belirli bir gerilim yaratmaktadır.

Kullanıcı katılımı ve etkileşim tasarımı boyutunda, arayüzlerin ve ortak yaratım araçlarının belirleyici olduğu görülmektedir. Rodriguez-Conde & Campos (2020), çoklu dokunmatik insan-makine arayüzü ile kullanıcıyı doğrudan tasarım sürecine dâhil ederek memnuniyet ve performansı artırmıştır [20]. Bu bulgu, kişiselleştirmenin teknik altyapı kadar etkileşim tasarımına da bağlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Arce vd. (2024), HCD ve DS yaklaşımlarını birleştirerek kullanıcı odaklı çözüm geliştirme becerilerinin eğitim yoluyla güçlendirilebileceğini ortaya koymuştur [22]. Bu bağlamda, kullanıcı katılımının sürdürülebilir biçimde yaygınlaşabilmesi için yalnızca araçların değil, süreç ve yetkinliklerin de geliştirilmesi gerekmektedir.

Uygulama alanları açısından biyomedikal sektör, AM tabanlı kişiselleştirmenin en görünür ve kritik örneklerini sunmaktadır. Pathak vd. (2023) [18] ve Wu vd. (2025) [19], hasta özgü

implant ve protezlerin klinik sonuçları iyileştirdiğini ortaya koyarken, biyouyumluluk ve mevzuat gibi sınırlılıkların devam ettiğini vurgulamaktadır. Kumar vd. (2023) ise otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde kişiselleştirilmiş uygulamaların yaygınlaştığını göstermektedir [15]. Bu bulgular, AM tabanlı kişiselleştirmenin özellikle yüksek katma değerli ve kullanıcıya özgü uyarlamanın kritik olduğu alanlarda daha hızlı benimsendiğini ortaya koymaktadır. Ancak bu sektörlerde regülasyon, güvenlik ve uzun dönem performans gereksinimleri, kişiselleştirme hızını sınırlayan önemli faktörler olarak öne çıkmaktadır.

Son olarak, sürdürülebilirlik ve malzeme deneyimi boyutunda, kullanıcı deneyiminin yalnızca geometri ve ergonomiyle sınırlı olmadığı, malzeme seçimlerinin algısal ve deneyimsel değeri doğrudan etkilediği görülmektedir. Balderrama-Armendariz vd. (2025), AM’de malzeme seçiminde kullanıcı deneyiminin ihmal edildiğini ve Malzeme Odaklı Tasarım yaklaşımıyla deneyimsel verilerin tasarım kararlarına entegre edilebileceğini göstermiştir [25]. Bu bulgu, sürdürülebilir malzeme kullanımının yalnızca çevresel değil, deneyimsel değer üretimi açısından da ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, malzeme partileri arasındaki değişkenlik ve deneyimsel verilerin genellenebilirliği, bu yaklaşımın ölçeklenebilirliği açısından sınırlayıcı unsurlar olarak değerlendirilebilir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, kişiselleştirilmiş ürün tasarımında AM teknolojileri ile kullanıcı deneyimi arasındaki ilişkiyi literatüre dayalı bütüncül bir çerçevede ele almış ve farklı disiplinlerden elde edilen bulguları karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. İncelenen çalışmalar, AM’nin sunduğu tasarım serbestisi, hızlı prototipleme ve düşük hacimli üretim olanaklarının, kullanıcı odaklı tasarım yaklaşımları ile bütünleştğinde kişiselleştirilmiş ürünlerin işlevsel, ergonomik ve deneyimsel değerini anlamlı ölçüde artırabildiğini ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, kişiselleştirmenin etkili biçimde hayata geçirilebilmesi yalnızca teknik üretim kapasitesine bağlı değildir. Tasarım süreçlerinin yeniden yapılandırılması, kullanıcı katılımının bilinçli biçimde kurgulanması ve kullanıcı deneyiminin sistematik olarak değerlendirilmesi de belirleyici olmaktadır.

Literatürden elde edilen bulgular, AM destekli kişiselleştirmenin kullanıcı değerini artırma potansiyelinin işlevsel performans, deneyimsel nitelikler ve duygusal bağ arasında kurulan

dengeye bağılı olduğunu göstermektedir. İşlevsel faydanın kullanıcıların benimseme ve ödeme istekliliğı üzerinde belirleyici olmaya devam ettiğı, buna karşılık deneyimsel ve duygusal boyutların kullanıcı katılımını ve ürünle kurulan öznel ilişkiyi güçlendirdiğı görülmektedir. Bu durum, kişiselleştirmenin yalnızca biçimsel farklılaşma üzerinden değil, performans, ergonomi ve algısal değer bileşenlerinin birlikte ele alındığı bütüncül bir tasarım problemi olarak ele alınması gerektiğine işaret etmektedir. AM'nin üretim teknolojisi olmanın ötesinde dijital üretim ekosistemlerinin kurucu bileşenlerinden biri hâline gelmesi, kişiselleştirilmiş ürün tasarımının ölçeklenebilirliğı açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Dijital ikiz, dağıtık üretim ve hizmet olarak fabrika gibi yaklaşımlar, talep odaklı ve esnek üretim modellerinin önünü açarken, veri yönetimi, kalite güvencesi, standardizasyon ve güvenlik gibi konuların tasarım ve üretim süreçlerine entegre edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, AM tabanlı kişiselleştirmenin endüstriyel ölçekte sürdürülebilir biçimde uygulanabilmesi, yalnızca teknoloji yatırımlarına değil, aynı zamanda süreç ve organizasyonel yapıların dönüşümüne bağılıdır.

Tasarım metodolojileri açısından bakıldığında, kişiselleştirmenin sezgisel tercihlerden ziyade biçimsel modellere ve sistematik çerçevelere dönüştürülebildiğı, ancak bu dönüşümün beraberinde yeni bir karmaşıklık düzeyi getirdiğı görülmektedir. Kullanıcı-ürün etkileşimini formel modellere dayalı olarak kurgulayan yaklaşımlar, tasarım kararlarının izlenebilirliğini ve tutarlılığını artırma potansiyeli taşıırken, bu tür modellerin uygulanması tasarımcı ve kullanıcı açısından ek bilişsel yük oluşturabilmektedir. Dolayısıyla, biçimsel tasarım yaklaşımları ile kullanıcıyı güçlendiren etkileşimli arayüzler arasında dengeli bir entegrasyonun sağlanması, kişiselleştirmenin hem erişilebilirliğini hem de etkinliğini artıran kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Kullanıcı katılımının tasarım sürecine anlamlı biçimde dâhil edilmesi, AM tabanlı kişiselleştirmenin başarısı açısından merkezi bir rol oynamaktadır. Kullanıcıyı tasarımın pasif alıcısı olmaktan çıkarıp aktif bir paydaş hâline getiren etkileşimli arayüzler ve kullanıcı merkezli öğrenme yaklaşımları, iteratif tasarım süreçlerini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, bu tür yaklaşımların endüstriyel bağlamda sürdürülebilir biçimde uygulanabilmesi, süreçlerin doğrulanması ve standartlaştırılması ile doğrudan ilişkilidir. Aksi hâlde, artan tasarım özgürlüğü hata risklerini ve üretim maliyetlerini artırabilmektedir.

Sektörel uygulamalar incelendiğinde, özellikle biyomedikal alanda AM tabanlı kişiselleştirmenin yüksek katma değer ürettiğı, hasta özgü çözümlerin klinik sonuçları iyileştirdiğı görülmektedir. Buna karşın, mevzuat, güvenlik ve uzun dönem performans

gereksinimleri, kişiselleştirmenin bu alandaki yaygınlığını sınırlayan temel etkenler olarak öne çıkmaktadır. Benzer şekilde, otomotiv ve havacılık gibi sektörlerde kişiselleştirme potansiyeli bulunmakla birlikte, güvenilirlik ve sertifikasyon gereksinimleri tasarım özgürlüğünün pratikte sınırlandırılmasına yol açabilmektedir. Bu durum, kişiselleştirmenin sektörel bağlama duyarlı biçimde ele alınması gerektiğini göstermektedir. Malzeme seçiminin kullanıcı deneyimi üzerindeki etkisi, kişiselleştirmenin yalnızca geometrik uyarlamalarla sınırlı olmadığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Sürdürülebilir malzeme kullanımı ile deneyimsel değer üretiminin birlikte ele alınması, AM tabanlı ürünlerin çevresel ve algısal performansını artırma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte, malzeme partileri arasındaki değişkenlik ve deneyimsel verilerin genellenebilirliği, bu yaklaşımın endüstriyel ölçekte uygulanmasında dikkatle yönetilmesi gereken sınırlılıklar olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, AM destekli kişiselleştirilmiş ürün tasarımında teknoloji merkezli yaklaşımların kullanıcı deneyimi merkezli bütünsel tasarım stratejileri ile desteklenmediği sürece sınırlı etki yaratacağını ortaya koymaktadır. Literatürde dağınık biçimde ele alınan bulgular, kullanıcı deneyimini tasarım, üretim ve sistem düzeyinde birleştiren bütüncül çerçevelerin geliştirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Gelecekteki çalışmaların, eklemeli imalata özgü kullanıcı deneyimi değerlendirme yöntemlerinin geliştirilmesine, kavramsal tasarım evresini yapılandıran araçların güçlendirilmesine ve kullanıcı-tasarımcı-üretim sistemleri arasındaki etkileşimi uçtan uca kapsayan süreç modellerinin oluşturulmasına odaklanması, alanın olgunlaşmasına önemli katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Hallstedt, S. I., Isaksson, O., & Öhrwall Rönnbäck, A. (2020). The need for new product development capabilities from digitalization, sustainability, and servitization trends. *Sustainability*, 12(23), 10222.
- [2] Kim, S., & Lee, K. (2023). The paradigm shift of mass customisation research. *International Journal of Production Research*, 61(10), 3350-3376.
- [3] Kumar, A. (2007). From mass customization to mass personalization: A strategic transformation. *International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 19(4), 533-547.
- [4] Zhou, F., Ji, Y., & Jiao, R. J. (2013). Affective and cognitive design for mass personalization: status and prospect. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(5), 1047-1069.

- [5] Koren, Y., Shpitalni, M., Gu, P., & Hu, S. J. (2015). Product design for mass-individualization. *Procedia Cirp*, 36, 64-71.
- [6] Kramer, J., Noronha, S., & Vergo, J. (2000). A user-centered design approach to personalization. *Communications of the ACM*, 43(8), 44-48.
- [7] Zheng, P., Yu, S., Wang, Y., Zhong, R. Y., & Xu, X. (2017). User-experience based product development for mass personalization: a case study. *Procedia CIRP*, 63, 2-7.
- [8] Top, N., Sahin, I., Mangla, S. K., Sezer, M. D., & Kazancoglu, Y. (2023). Towards sustainable production for transition to additive manufacturing: a case study in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 61(13), 4450-4471.
- [9] Huang, Y., Eysers, D. R., Stevenson, M., & Thürer, M. (2021). Breaking the mould: achieving high-volume production output with additive manufacturing. *International Journal of Operations & Production Management*, 41(12), 1844-1851.
- [10] Taha, M. M., Zahid, M. N. O., Mazalan, N. A., Kudus, S. I. A., & Ariadi, Y. (2025). User Value Priorities in Product Personalization and their Implications for Designing Future Additive Manufacturing Enabled Personalization Tools. *International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS)*, 9(11).
- [11] Hu, S. J. (2013). Evolving paradigms of manufacturing: From mass production to mass customization and personalization. *Procedia Cirp*, 7, 3-8.
- [12] Turner, C., & Oyekan, J. (2023). Personalised production in the age of circular additive manufacturing. *Applied Sciences*, 13(8), 4912.
- [13] Guo, D., Ling, S., Li, H., Ao, D., Zhang, T., Rong, Y., & Huang, G. Q. (2020, August). A framework for personalized production based on digital twin, blockchain and additive manufacturing in the context of Industry 4.0. In *2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 1181-1186). IEEE.
- [14] Kang, H. S., Noh, S. D., Son, J. Y., Kim, H., Park, J. H., & Lee, J. Y. (2018). The FaaS system using additive manufacturing for personalized production. *Rapid Prototyping Journal*, 24(9), 1486-1499.
- [15] Kumar, A., Mishra, D. K., Upadhyay, L., Srivastava, M., & Pathak, D. K. (2023). Additive manufacturing technologies for on-demand production of personalized goods. In *Laser Applications in Manufacturing* (pp. 120-152). CRC Press.
- [16] Lachmayer, R., Gembarski, P. C., Gottwald, P., & Lippert, R. B. (2016, August). The potential of product customization using technologies of additive manufacturing. In *Managing Complexity: Proceedings of the 8th World Conference on Mass Customization*,

Personalization, and Co-Creation (MCPC 2015), Montreal, Canada, October 20th-22th, 2015 (pp. 71-81). Cham: Springer International Publishing.

- [17] Ko, H., Moon, S. K., & Otto, K. N. (2015). Design knowledge representation to support personalised additive manufacturing. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(4), 217-226.
- [18] Pathak, K., Saikia, R., Das, A., Das, D., Islam, M. A., Pramanik, P., ... & Borthakur, B. (2023). 3D printing in biomedicine: Advancing personalized care through additive manufacturing. *Exploration of Medicine*, 4(6), 1135-1167.
- [19] Wu, P., Liu, X., Guo, Z., & Lau, L. (2025). Personalization and Precision: Innovative Applications and Future Challenges of Additive Manufacturing in Orthopedic Implants. *Journal of Orthopaedic Research*.
- [20] Rodriguez-Conde, I., & Campos, C. (2020). Towards customer-centric additive manufacturing: making human-centered 3D design tools through a handheld-based multi-touch user interface. *Sensors*, 20(15), 4255.
- [21] Ko, H., Enea, S., Chua, Z. Y., Moon, S. K., & Otto, K. N. (2016). User-centered design for additive manufacturing as a customization strategy. In *Proceedings of the International Conference on Progress in Additive Manufacturing* (pp. 234-239).
- [22] Arce, E., Suárez-García, A., Devesa-Rey, R., & Álvarez-Feijoo, M. (2024, January). Human-Centered Design Through Additive Manufacturing. In *Notes for Manufacturing Instructors: From Class to Workshop* (pp. 1-19). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [23] Santos, A. V. D. F., & Silveira, Z. D. C. (2021). Design for assistive technology oriented to design methodology: a systematic review on user-centered design and 3D printing approaches. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 43(11), 483.
- [24] Ansari, Z., Rostamzadeh, S., & Abouhossein, A. (2025). Revolutionizing Interface Design: Leveraging Additive Manufacturing and User-Centered Assessments. In *Industry 4.0 and Intelligent Manufacturing Technologies* (pp. 151-170). Routledge.
- [25] Balderrama-Armendariz, C. O., Arbelaez-Rios, S. E., Cortes-Saenz, D., Flores-Figueroa, J. D. J., Maldonado-Macias, A. A., & Rossa-Sierra, A. (2025). Optimizing the user experience of additive manufacturing products through material driven design. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 19(7), 5331-5346.

EKLEMELİ İMALAT TEKNOLOJİLERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK GÖSTERGELERİ: YAŞAM DÖNGÜSÜ VE DÖNGÜSEL TASARIM PERSPEKTİFİ

Dr. Öğr. Üyesi, NESLİHAN TOP

Gazi Üniversitesi, neslihan.top@gazi.edu.tr - 0000-0002-0771-6963

Doç. Dr., HARUN GÖKÇE

Gazi Üniversitesi, harungokce@gazi.edu.tr - 0000-0002-2702-0111

Prof. Dr., İSMAİL ŞAHİN

Gazi Üniversitesi, isahin@gazi.edu.tr - 0000-0001-8566-3433

ÖZET

Eklemeli imalat (Additive Manufacturing - AM) teknolojileri, tasarım özgürlüğü, fonksiyonel entegrasyon, özelleştirme kapasitesi ve potansiyel malzeme verimliliği gibi avantajlarıyla sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının önemli bir bileşeni hâline gelmiştir. Ancak AM süreçlerinin çevresel ve ekonomik etkilerinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi, literatürde hâlen yöntemsel farklılıklar, sınır tanımları ve karşılaştırılabilirlik sorunları içermektedir. Bu derleme çalışmasının temel amacı, eklemeli imalatta sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde kullanılan başlıca göstergeleri sistematik biçimde incelemek ve Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment - LCA), Yaşam Döngüsü Maliyeti (Life Cycle Cost - LCC) ve Döngüsel Tasarım (Circular Design) yaklaşımlarını bütünleşik bir çerçevede ele almaktır. Çalışma kapsamında, polimer ve metal bazlı eklemeli imalat yöntemlerine odaklanan güncel akademik yayınlar taranarak enerji tüketimi, karbon ayak izi, hammadde kullanımı, malzeme kaybı, post-process gereksinimleri ve ekonomik maliyet bileşenleri açısından kullanılan değerlendirme metrikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. LCA çalışmalarında süreç sınırlarının tanımlanması, fonksiyonel birim seçimi ve özellikle ısıtma işlemi, yüzey bitirme ve destek yapıların uzaklaştırılması gibi post-processing adımlarının dâhil edilmesinin sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu görülmüştür. LCC analizleri, AM'nin düşük üretim hacimleri ve yüksek geometrik karmaşıklığa sahip parçalarda maliyet

avantajı sağlayabildiğini, ancak ekipman yatırımı, enerji tüketimi ve işletme maliyetlerinin önemli belirsizlik kaynakları oluşturduğunu göstermektedir. Döngüsel tasarım perspektifinde ise AM'nin onarım, yeniden üretim, modüler ürün mimarileri ve malzeme geri kazanımı açısından sunduğu potansiyel öne çıkmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma, eklemeli imalatta sürdürülebilirliğin yalnızca çevresel göstergelerle sınırlı kalmadan, ekonomik ve döngüsel tasarım kriterleriyle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, farklı AM teknolojileri arasında anlamlı karşılaştırmalar yapılabilmesi için standartlaştırılmış değerlendirme metodolojilerine olan ihtiyaca dikkat çekilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eklemeli İmalat, Sürdürülebilirlik, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (LCA), Yaşam Döngüsü Maliyeti (LCC), Döngüsel Tasarım

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat (Additive Manufacturing - AM) teknolojileri, sunduğu yüksek tasarım özgürlüğü, fonksiyonel entegrasyon imkânı, kişiselleştirilmiş üretim kapasitesi ve potansiyel malzeme verimliliği sayesinde son yıllarda sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının önemli bir bileşeni olarak değerlendirilmektedir [1]. Kalıpsız üretim, talep odaklı üretim modelleri ve karmaşık geometrilerin ek maliyet oluşturmaksızın üretilebilmesi gibi özellikler, AM'nin kaynak verimliliği ve israfın azaltılması bağlamında avantajlı bir teknoloji olarak konumlandırılmasına yol açmıştır [2]. AM, tedarik zinciri boyunca gereken hammadde miktarını düşürme, yüksek enerji tüketimine sahip ve israfa yol açan kirletici üretim süreçlerine olan bağımlılığı azaltma ile birlikte, daha verimli ve esnek ürün tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak tanıma potansiyeline sahiptir [3]. Bu potansiyelin ne ölçüde gerçekleştiğinin ortaya konulabilmesi ise AM süreçlerinin çevresel etkilerinin sistematik ve bütüncül değerlendirme yaklaşımlarıyla analiz edilmesini gerekli kılmaktadır.

AM'nin sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesinde en yaygın başvuru yaklaşım Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (Life Cycle Assessment - LCA) olup, ürün veya süreçlerin hammadde temininden kullanım sonuna kadar olan çevresel etkilerini nicel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır [4]. Bununla birlikte, AM özelinde yürütülen LCA çalışmalarında sistem sınırlarının tanımlanması, fonksiyonel birim seçimi ve karşılaştırma yapılan konvansiyonel üretim süreçlerine ilişkin varsayımlar arasında önemli farklılıklar bulunduğu

görülmektedir [5-8]. Özellikle ısıtma işlemi, yüzey bitirme, destek yapıların uzaklaştırılması ve kalite kontrol gibi post-processing adımlarının LCA kapsamına dâhil edilip edilmemesi, elde edilen sonuçlar üzerinde belirleyici etkiye sahiptir. Bu yönetsel çeşitlilik, AM teknolojileri arasında ya da AM ile geleneksel üretim yöntemleri arasında yapılan sürdürülebilirlik karşılaştırmalarının doğrudan ve anlamlı biçimde yapılmasını güçleştirmektedir.

Çevresel etkilerin yanı sıra, eklemeli imalatın sürdürülebilirlik performansının ekonomik boyutunun da dikkate alınması gerekmektedir. Bir ürünün yaşam döngüsü maliyeti, kullanım ömrü boyunca ortaya çıkan tüm maliyet kalemlerinin toplamını ifade eder. Yaşam döngüsü maliyetlendirmesi (Life Cycle Cost - LCC) ise bir ürünün ya da sistemin yaşam döngüsü süresince oluşan maliyetlerin bütüncül biçimde değerlendirilmesini sağlayan etkili bir yöntemdir [9]. LCC analizleri, düşük adetli ve geometrik olarak karmaşık parçalarda AM'nin maliyet açısından rekabetçi olabildiğini göstermektedir. Buna karşın, yüksek ekipman yatırımı, enerji tüketimi ve işletme maliyetleri, AM'nin ekonomik sürdürülebilirliği açısından temel belirsizlik alanlarıdır. Zaman içerisinde çok sayıda LCC yaklaşımı ve modeli geliştirilmiş olsa da kullanıcı tercihleri, problemin niteliği, maliyet verilerinin toplanma biçimi ile kullanılan ekipman ve sistemlerin farklılığı nedeniyle ortak kabul görmüş tek bir standart model henüz oluşturulamamıştır [10].

Son yıllarda, AM teknolojilerinin döngüsel ekonomi ve döngüsel tasarım yaklaşımları ile ilişkilendirilmesi, sürdürülebilirlik tartışmalarına yeni bir boyut kazandırmıştır [11-13]. AM'nin onarım, yeniden üretim, modüler ürün mimarileri ve yerel üretim modelleri için sunduğu esneklik, ürün yaşam döngüsünün uzatılması ve kaynak kullanımının azaltılması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Bununla birlikte, döngüsel tasarım perspektifinde AM çoğu zaman kavramsal bir potansiyel olarak ele alınmakta, endüstriyel ölçekte uygulanmış, ölçülebilir çevresel ve ekonomik kazanımlar sunan örnekler sınırlı kalmaktadır. Ayrıca, geri kazanılmış malzemelerin AM süreçlerinde kullanımı ve bu malzemelerin mekanik ve çevresel performansı gibi konular, hâlen araştırmaya açık alanlar arasında yer almaktadır.

Bu çerçevede, eklemeli imalatın sürdürülebilirliğin yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasıyla sınırlı olmayan, yaşam döngüsü maliyeti ve döngüsel tasarım ilkeleriyle birlikte ele alınması gereken çok boyutlu bir değerlendirme problemi olduğu görülmektedir. Literatürdeki çalışmaların yönetsel çeşitliliği ve karşılaştırılabilirlik sorunları, AM teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansına ilişkin genel geçer sonuçlara ulaşılmasını güçleştirmektedir. Bu

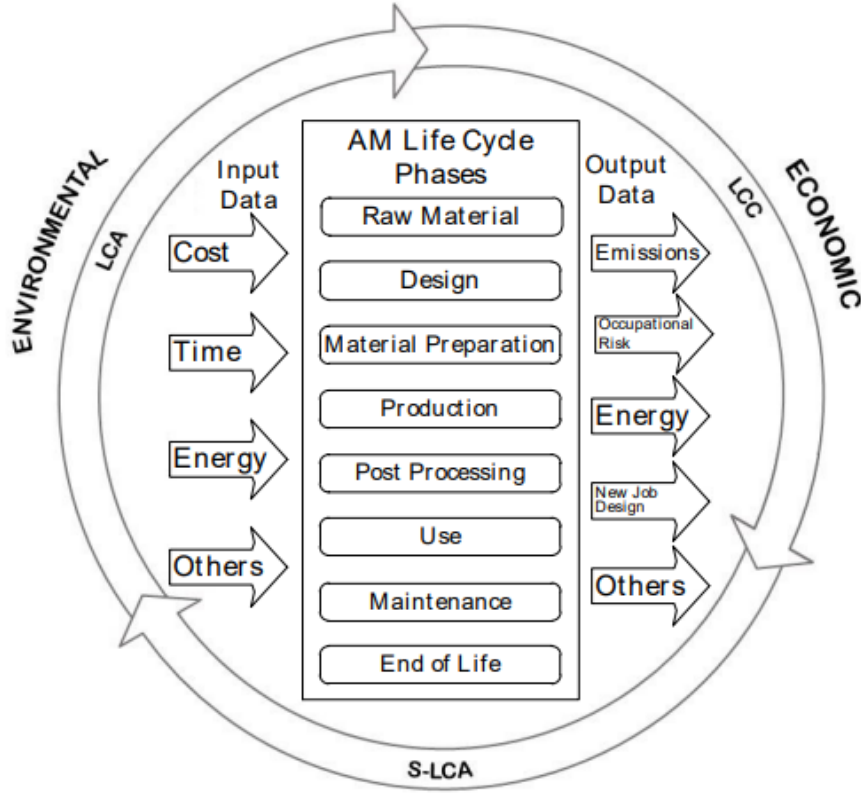
çalışmanın amacı, eklemeli imalatta sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde kullanılan başlıca göstergeleri sistematik biçimde incelemek ve LCA, LCC ve döngüsel tasarım yaklaşımlarını bütünlüklü bir çerçevede tartışmaktır. Bu kapsamda, polimer ve metal bazlı AM yöntemlerine odaklanan güncel akademik çalışmalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmekte süreç sınırları, değerlendirme metrikleri ve varsayımların sonuçlar üzerindeki etkileri ortaya konulmaktadır. Böylece, gelecekte yürütülecek araştırmalar ve endüstriyel uygulamalar için daha standartlaştırılmış, şeffaf ve karşılaştırılabilir sürdürülebilirlik değerlendirme çerçevelerinin geliştirilmesine katkı sunulması hedeflenmektedir.

2. EKLEMELİ İMALAT VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Son yıllarda AM, tasarım özgürlüğü, özelleştirilmiş üretim kapasitesi ve malzeme verimliliği potansiyeli sayesinde sürdürülebilir üretim paradigmaları bağlamında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Geleneksel üretim yöntemlerine kıyasla AM, yalnızca ihtiyaç duyulan malzemenin kullanılması, karmaşık geometrilerin tek parçada üretilebilmesi ve yerinde üretim olanakları sayesinde lojistik yükün azaltılması gibi avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, AM'nin sürdürülebilirliğe olan katkısı tekil ve mutlak bir üstünlük olarak değil süreç türü, kullanılan malzeme, enerji tüketimi ve ürün yaşam döngüsü bağlamında bütüncül biçimde değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir olgu olarak ele alınmaktadır.

Literatürde AM'nin sürdürülebilirlik potansiyeline ilişkin ilk kavramsal tartışmalar, enerji verimliliği ve tasarım odaklı sürdürülebilirlik yaklaşımları üzerinden şekillenmiştir. Hao vd. (2010), AM süreçlerinin çevresel etkilerinin uygun tasarım stratejileri ve proses optimizasyonu yoluyla azaltılabileceğini vurgulamış, teknolojinin sürdürülebilir üretim için önemli bir potansiyel sunduğunu, ancak o dönemde süreç olgunluğunun sınırlı olduğunu belirtmiştir [14]. Bu erken dönem perspektifi, daha sonraki çalışmalarda geliştirilen bütüncül değerlendirme çerçevelerinin temelini oluşturmuştur. Bu bağlamda, sürdürülebilirliğin sistematik olarak ölçülmesine yönelik metodolojik yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Mani vd. (2014), AM süreçlerinin sürdürülebilirlik açısından karakterize edilmesine yönelik bir çerçeve önererek LCA, enerji tüketimi ve kaynak verimliliği gibi göstergelerin birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymuştur [15]. Benzer şekilde, Ribeiro vd. (2020) tarafından geliştirilen yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirmesi çerçevesi, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları entegre ederek AM'nin sürdürülebilirlik performansının karşılaştırmalı olarak analiz

edilmesine imkân tanımaktadır (Şekil 1) [16]. Bu çalışmalar, AM'nin belirli uygulamalarda çevresel avantajlar sunabildiğini, ancak seri üretim ve yüksek enerji gerektiren süreçlerde bu avantajların sınırlı kalabildiğini göstermektedir.



Şekil 1. Ribeiro vd. (2020) tarafından geliştirilen yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirmesi çok boyutlu çerçeve [16]

AM'nin sürdürülebilirliğine ilişkin daha güncel literatür, sistematik derlemeler ve kapsamlı incelemeler aracılığıyla alanın olgunlaştığını göstermektedir. Agnusdei ve Del Prete (2022), sistematik literatür taraması yoluyla AM'nin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik boyutlarını birlikte ele almış ve özellikle tedarik zincirinin kısaltılması, yerel üretim ve özelleştirilmiş ürün geliştirme açısından önemli fırsatlar sunduğunu vurgulamıştır [17]. Bununla birlikte, yazarlar AM'nin her durumda geleneksel üretim yöntemlerinden daha sürdürülebilir olduğunun varsayılamayacağını, süreç ve bağlam bağımlılığının kritik olduğunu belirtmiştir. Benzer biçimde, Khalid ve Peng (2021) [18] ile Singh vd. (2024) [19], AM'nin malzeme verimliliği ve tasarım esnekliği açısından çevresel kazanımlar sağlayabildiğini, ancak enerji yoğunluğu ve endüstriyel ölçeklenebilirlik gibi faktörlerin sürdürülebilirlik performansını sınırlayabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, AM'nin sürdürülebilirlik

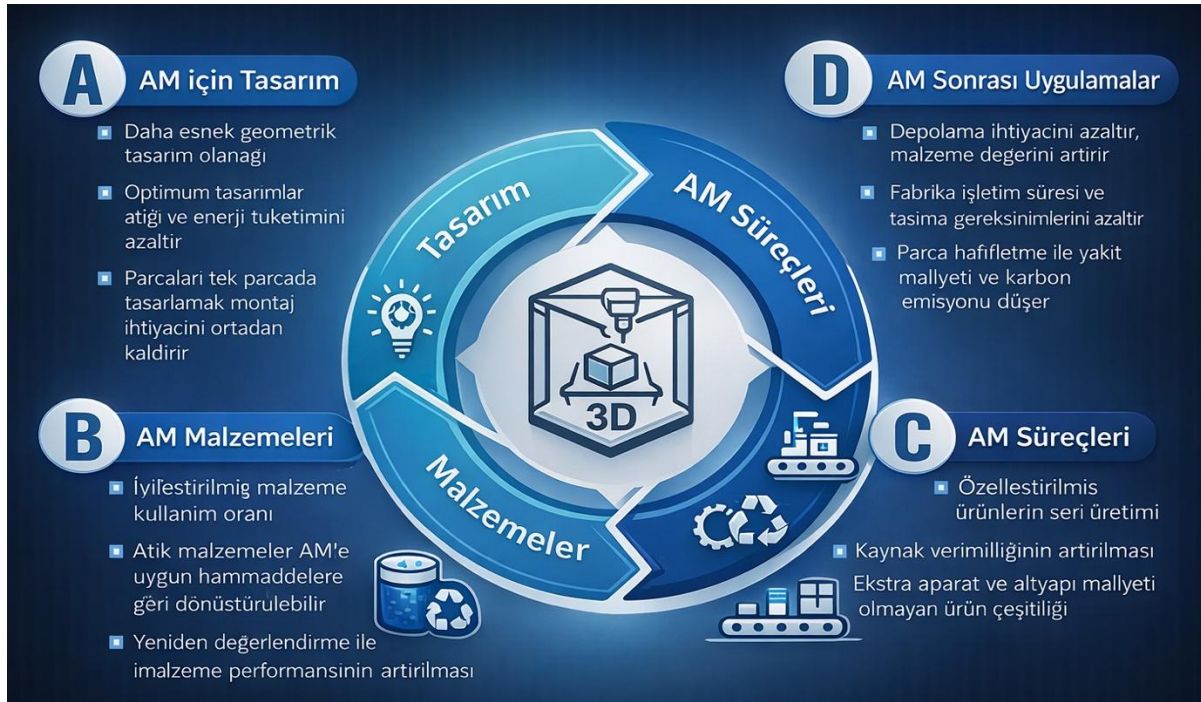
potansiyelinin bağlamsal olarak değerlendirilmesi gerektiği yönündeki görüşleri desteklemektedir.

Öte yandan, AM'nin sürdürülebilirliğe katkısı yalnızca üretim süreci ile sınırlı olmayıp, uygulama alanına özgü etkiler üzerinden de tartışılmaktadır. Javaid vd. (2021), AM'nin atık azaltımı, parça hafifletme ve yerinde üretim olanakları sayesinde çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayabildiğini, özellikle havacılık ve biyomedikal gibi yüksek katma değerli sektörlerde bu etkinin daha belirgin olduğunu göstermiştir [20]. Benzer şekilde, Weaver vd. (2022), farmasötik üretimde AM ve benzeri yeni teknolojilerin kişiselleştirilmiş üretim yoluyla kaynak verimliliği sağlayabileceğini, ancak regülasyon, ölçeklenebilirlik ve proses güvenilirliği gibi faktörlerin sürdürülebilirlik kazanımlarını sınırlandırabileceğini belirtmiştir [21]. Bu çalışmalar, AM'nin sürdürülebilirlik potansiyelinin sektör bağımlı olduğunu ve uygulama bağlamına göre farklılaştığını ortaya koymaktadır. Öte yandan, Su vd. (2024), AM'nin sürdürülebilirliğe katkısının malzeme seçimi, geri dönüştürülebilir hammaddelerin kullanımı ve süreç optimizasyonu ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulamıştır [22]. Yazarlar, döngüsel ekonomi yaklaşımıyla uyumlu AM uygulamalarının çevresel etkileri azaltma potansiyeline sahip olduğunu ancak enerji verimliliği ve standartlaşma konularında halen önemli araştırma boşlukları bulunduğunu ifade etmiştir. Bu bulgular, önceki çalışmaların işaret ettiği bağlamsal sürdürülebilirlik yaklaşımını güncel teknoloji ve endüstriyel gereksinimler çerçevesinde pekiştirmektedir.

Sonuç olarak, literatür genelinde eklemeli imalatın sürdürülebilir üretim için önemli bir potansiyel sunduğu konusunda ortak bir görüş bulunmaktadır. Ancak bu potansiyel, tek başına AM teknolojisinin varlığıyla değil süreç türü, enerji kaynağı, malzeme seçimi, parça geometrisi ve kullanım senaryosu gibi çoklu parametrelerin birlikte değerlendirilmesiyle anlam kazanmaktadır. Bu nedenle, AM'nin sürdürülebilirlik performansı, genellenebilir bir üstünlük olarak değil uygulamaya özgü, yaşam döngüsü temelli ve karşılaştırmalı analizlerle ortaya konulması gereken bağlamsal bir özellik olarak ele alınmalıdır. Bu yaklaşım, AM'nin gelecekte sürdürülebilir üretim sistemlerine entegrasyonu açısından daha gerçekçi ve bilimsel temelli bir çerçeve sunmaktadır.

3. YAŞAM DÖNGÜSÜ VE DÖNGÜSEL TASARIM BAĞLAMINDA EKLEMELİ İMALAT

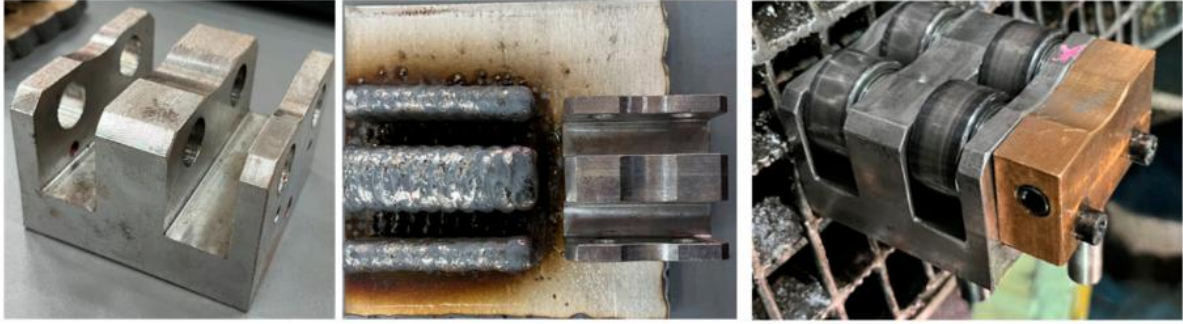
AM, yalnızca üretim aşamasındaki çevresel performansı ile değil, ürün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkan çevresel ve ekonomik etkileri ile de sürdürülebilirlik literatüründe giderek daha fazla tartışılmaktadır. Özellikle yaşam döngüsü değerlendirmesi LCA ve LCC yaklaşımlarının AM bağlamında yaygınlaşması, bu teknolojinin geleneksel çıkarımlı imalat yöntemleriyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine imkân tanımaktadır. Bununla birlikte, AM'nin döngüsel ekonomi prensipleriyle bütünleşme potansiyeli, yeniden kullanım, onarım, yeniden üretim ve dağıtık üretim gibi stratejiler üzerinden ele alınarak literatürde çok boyutlu bir tartışma alanı oluşturmuştur. AM'in sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmadaki faydaları Şekil 2' gösterilmiştir.



Şekil 2. Sürdürülebilirliğin sağlanmasında eklemeli imalatın faydaları [22]

Bu kapsamda, AM ve geleneksel imalat yöntemlerinin yaşam döngüsü temelli karşılaştırmalı analizleri literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Kokare vd. (2023), geleneksel imalat, Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) ve Selective Laser Melting (SLM) yöntemlerini LCA ve LCC yaklaşımlarıyla karşılaştırarak, AM'nin özellikle parça onarımı ve yeniden üretim senaryolarında çevresel ve ekonomik avantajlar sağlayabildiğini göstermiştir [4]. Benzer

şekilde, Segovia-Guerrero vd. (2025), çelik fabrikası yedek parçaları üzerinden gerçekleştirdikleri karşılaştırmalı LCA-LCC analizinde, düşük adetli ve acil üretim gerektiren durumlarda AM'nin lojistik avantajlar sayesinde daha sürdürülebilir bir seçenek olabildiğini, buna karşın seri üretimde geleneksel yöntemlerin halen daha verimli kaldığını ortaya koymuştur (Şekil 3) [23]. Bu bulgular, AM'nin yaşam döngüsü performansının üretim hacmi ve kullanım senaryosuna yüksek derecede bağımlı olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, Mecheter vd. (2023) tarafından sunulan derleme çalışması da, metal parça üretiminde AM'nin özellikle karmaşık geometriler ve düşük hacimli üretimler için avantajlı olduğunu, ancak yüksek enerji gerektiren süreçler nedeniyle her durumda çevresel üstünlük sunmadığını vurgulamaktadır [24].

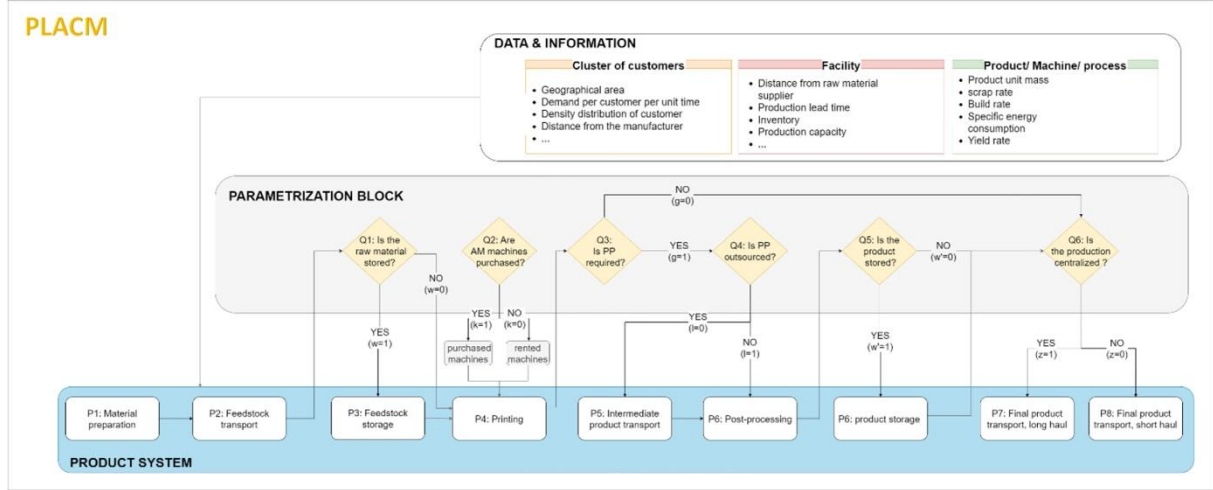


Şekil 3. CNC ile üretilmiş parça (solda); plazma-WAAM ön şekillendirilmiş parça (ortada); WAAM-CNC hibrit üretim yöntemiyle üretilen nihai parça (sağda) [23]

Özellikle metal AM süreçlerinin yaşam döngüsü performansı, son yıllarda daha ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Rahmani vd. (2025), Laser Powder Bed Fusion (LPBF) sürecinin yaşam döngüsü çevresel etkilerini ve maliyet etkinliğini inceleyerek, toz üretimi ve proses enerjisinin toplam çevresel etkiyi belirleyen temel unsurlar olduğunu göstermiştir [25]. Bu bulgular, Kokare vd. (2023) tarafından SLM süreçleri için rapor edilen enerji yoğunluğu sorunlarıyla örtüşmekte ve metal AM'nin sürdürülebilirliğinin süreç optimizasyonuna güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymaktadır [4]. Ayrıca, Pusateri ve Olsen (2024), WAAM ile üretilen ve onarılan parçaların LCA ve LCC analizleri sonucunda, onarım senaryolarında AM'nin çevresel ve ekonomik açıdan belirgin üstünlük sağladığını göstermiştir [26]. Bu durum, AM'nin döngüsel ekonomi bağlamında özellikle ürün ömrünün uzatılması ve yeniden kullanım stratejileriyle güçlü bir sinerji oluşturduğunu göstermektedir.

AM'nin döngüsel ekonomi ile ilişkisi yalnızca üretim aşamasıyla sınırlı kalmayıp, tasarım paradigmasının dönüşümünü de kapsamaktadır. Sauerwein vd. (2019), döngüsel tasarım ilkeleri çerçevesinde AM'nin modülerlik, onarılabilirlik ve yeniden kullanım odaklı ürün geliştirmeyi desteklediğini ortaya koymuştur [27]. Bu tasarım odaklı yaklaşım, Duve vd. (2024) tarafından metal AM'nin otomotiv üretiminde onarım ve yeniden üretim yoluyla ürün ömrünü uzatmaya yönelik potansiyelinin vurgulanmasıyla uygulama düzeyinde desteklenmektedir [28]. Benzer şekilde, Gouveia vd. (2022), döngüsellik temelli bir vaka çalışması üzerinden AM'nin geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ve kapalı döngü üretim senaryolarında çevresel etkileri azaltabileceğini göstermiştir [29]. Bu çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, AM'nin döngüsel ekonomi bağlamındaki katkısının yalnızca üretim tekniği olarak değil, tasarım, kullanım ve yaşam sonu stratejilerini kapsayan bütüncül bir yaklaşım gerektirdiği anlaşılmaktadır.

Daha ileri bir perspektifte, yakın zamanda preprint olarak sunulan Matos vd. (2026) çalışmasında, LCA, LCC ve döngüsellik göstergelerini entegre eden yeni bir değerlendirme çerçevesi önerilerek, AM'nin enjeksiyon kalıplarının sürdürülebilirlik performansını nasıl dönüştürebileceği gösterilmiştir [30]. Bu çalışma, AM'nin yalnızca nihai ürün üretiminde değil, üretim araçlarının tasarım ve kullanım ömrü boyunca sürdürülebilirliğin artırılmasına katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Manco vd. (2023), yeşil tedarik zincirleri bağlamında geliştirdikleri parametrik LCA-maliyet modeli ile AM'nin dağıtık ve yerel üretim senaryolarında karbon ayak izini ve toplam maliyeti düşürme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir (Şekil 4) [31]. Bu sonuçlar, AM'nin döngüsel ekonomi çerçevesinde yalnızca ürün düzeyinde değil, tedarik zinciri ölçeğinde de dönüşümsel etkiler yaratabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. Parametrik LCA/LCC modeli [31]

Sonuç olarak, yaşam döngüsü temelli analizler ve döngüsel tasarım perspektifleri birlikte ele alındığında, eklemeli imalatın sürdürülebilirlik potansiyelinin bağlama duyarlı ve çok boyutlu olduğu görülmektedir. Literatür, AM'nin özellikle düşük adetli üretimler, parça onarımı, yeniden üretim ve yerel üretim senaryolarında çevresel ve ekonomik avantajlar sağlayabildiğini buna karşın yüksek enerji yoğun metal AM süreçlerinde sürdürülebilirlik kazanımlarının sınırlı kalabildiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle AM'nin döngüsel ekonomi bağlamında etkin bir araç haline gelebilmesi, yalnızca üretim teknolojisinin seçimine değil, tasarım stratejilerinin, enerji kaynaklarının ve yaşam döngüsü boyunca karar destek mekanizmalarının bütüncül olarak ele alınmasına bağlıdır.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, AM teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansının değerlendirilmesinde LCA, LCC ve döngüsel tasarım yaklaşımlarının birlikte ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Literatürde yer alan bulgular, AM'nin özellikle düşük adetli üretimler, yüksek geometrik karmaşıklığa sahip parçalar, parça onarımı ve yeniden üretim senaryolarında çevresel ve ekonomik açıdan avantajlar sunabildiğini, buna karşın enerji yoğun metal AM süreçlerinde bu kazanımların sınırlı kalabildiğini göstermektedir. LCA çalışmalarında sistem sınırları, fonksiyonel birim tanımı ve post-processing adımlarının kapsam dâhiline alınması gibi yöntemsel tercihler, sonuçları belirgin biçimde etkilemekte ve farklı çalışmalar arasında doğrudan karşılaştırma yapılmasını güçleştirmektedir. Benzer şekilde, LCC analizlerinde

ekipman yatırımı, enerji maliyetleri ve işletme giderlerine ilişkin belirsizlikler, AM'nin ekonomik sürdürülebilirliğine yönelik genellenebilir yargılara varılmasını zorlaştırmaktadır. Döngüsel tasarım perspektifinde ise AM'nin onarım, modülerlik ve yerel üretim gibi stratejiler yoluyla ürün yaşam döngüsünü uzatma potansiyeli öne çıkmakla birlikte, endüstriyel ölçekte ölçülebilir çevresel ve ekonomik kazanımlar sunan uygulamaların halen sınırlı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda, gelecekteki çalışmaların standartlaştırılmış LCA ve LCC metodolojileri, şeffaf veri paylaşımı ve döngüsellik göstergelerini bütünleştiren karar destek çerçevelerine odaklanması, AM teknolojilerinin sürdürülebilir üretim sistemlerine etkin biçimde entegre edilebilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın temel sınırlılığı, literatürde taranan çalışmaların farklı AM teknolojileri, malzeme türleri, fonksiyonel birimler ve sistem sınırları kullanması nedeniyle elde edilen bulguların doğrudan karşılaştırılabilirliğinin sınırlı olmasıdır. Literatürde yer alan LCA ve LCC çalışmalarının büyük bölümü vaka-özel senaryolara dayandığından, sonuçlar genellenebilir çıkarımlar üretmekten ziyade bağlama duyarlı değerlendirmeler sunmaktadır. Ayrıca, birçok çalışmada enerji tüketimi, malzeme üretimi ve post-processing adımlarına ilişkin verilerin deneysel ölçümler yerine ikincil veri tabanları veya varsayımlar üzerinden elde edilmesi, belirsizlik düzeyini artırmaktadır. Döngüsel tasarım bağlamında ise endüstriyel ölçekte doğrulanmış, uzun dönemli çevresel ve ekonomik etkileri ortaya koyan çalışmaların sınırlı olması, AM'nin döngüsellik potansiyelinin çoğunlukla kavramsal düzeyde tartışılmasına yol açmaktadır. Bu durum, bulguların bağlama bağımlı olarak yorumlanmasını gerekli kılmaktadır.

Gelecek çalışmalarda, farklı AM teknolojileri ve geleneksel üretim yöntemleri arasında anlamlı karşılaştırmalar yapılabilmesini sağlayacak standartlaştırılmış LCA ve LCC protokollerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. Özellikle fonksiyonel birim tanımı, sistem sınırları ve post-processing adımlarının kapsamı için ortak çerçevelerin benimsenmesi, literatürdeki yöntemsel parçalanmışlığı azaltacaktır. Bununla birlikte, gerçek endüstriyel üretim verilerine dayalı uzun dönemli vaka çalışmaları, AM'nin döngüsel ekonomi bağlamındaki potansiyelinin nicel olarak ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır. Geri kazanılmış malzemelerin AM süreçlerinde kullanımına ilişkin mekanik performans, süreç kararlılığı ve çevresel etki analizlerinin derinleştirilmesi, ayrıca enerji kaynağı bileşiminin sürdürülebilirlik sonuçları üzerindeki etkisinin bütüncül biçimde değerlendirilmesi, gelecekteki araştırmalar için kritik araştırma yönleri olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Diegel, O., Singamneni, S., Reay, S., & Withell, A. (2010). Tools for sustainable product design: additive manufacturing. *Journal of Sustainable Development*, 3(3), 68.
- [2] Top, N., Sahin, I., Mangla, S. K., Sezer, M. D., & Kazancoglu, Y. (2023). Towards sustainable production for transition to additive manufacturing: a case study in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 61(13), 4450-4471.
- [3] Peng, T., Kellens, K., Tang, R., Chen, C., & Chen, G. (2018). Sustainability of additive manufacturing: An overview on its energy demand and environmental impact. *Additive manufacturing*, 21, 694-704.
- [4] Kokare, S., Oliveira, J. P., & Godina, R. (2023). A LCA and LCC analysis of pure subtractive manufacturing, wire arc additive manufacturing, and selective laser melting approaches. *Journal of Manufacturing Processes*, 101, 67-85.
- [5] Lunetto, V., Priarone, P. C., Kara, S., & Settineri, L. (2021). A comparative LCA method for environmentally friendly manufacturing: Additive manufacturing versus Machining case. *Procedia CIRP*, 98, 406-411.
- [6] Garcia, F. L., Nunes, A. O., Martins, M. G., Belli, M. C., Saavedra, Y. M., Silva, D. A. L., & Moris, V. A. D. S. (2021). Comparative LCA of conventional manufacturing vs. additive manufacturing: the case of injection moulding for recycled polymers. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 1604-1622.
- [7] Kaddoura, M., Majeau-Bettez, G., Amor, B., & Margni, M. (2025). Global sensitivity analysis reduces data collection efforts in LCA: A comparison between two additive manufacturing technologies. *Science of the Total Environment*, 975, 179269.
- [8] Faludi, J., Bayley, C., Bhogal, S., & Iribarne, M. (2015). Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment. *Rapid Prototyping Journal*, 21(1), 14-33.
- [9] Kokare, S., Oliveira, J. P., & Godina, R. (2023). Life cycle assessment of additive manufacturing processes: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 68, 536-559.
- [10] Dhillon, B. S. (2009). *Life cycle costing for engineers*. Crc Press.
- [11] Sauerwein, M., Doubrovski, E., Balkenende, R., & Bakker, C. (2019). Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1138-1149.

- [12] Romani, A., Rognoli, V., & Levi, M. (2021). Design, materials, and extrusion-based additive manufacturing in circular economy contexts: from waste to new products. *Sustainability*, 13(13), 7269.
- [13] Ponis, S., Aretoulaki, E., Maroutas, T. N., Plakas, G., & Dimogiorgi, K. (2021). A systematic literature review on additive manufacturing in the context of circular economy. *Sustainability*, 13(11), 6007.
- [14] Hao, L., Raymond, D., Strano, G., & Dadbakhsh, S. (2010, January). Enhancing the sustainability of additive manufacturing. In *5th international conference on responsive manufacturing-green manufacturing (ICRM 2010)* (pp. 390-395). IET.
- [15] Mani, M., Lyons, K. W., & Gupta, S. K. (2014). Sustainability characterization for additive manufacturing. *Journal of research of the National Institute of Standards and Technology*, 119, 419.
- [16] Ribeiro, I., Matos, F., Jacinto, C., Salman, H., Cardeal, G., Carvalho, H., ... & Peças, P. (2020). Framework for life cycle sustainability assessment of additive manufacturing. *Sustainability*, 12(3), 929.
- [17] Agnusdei, L., & Del Prete, A. (2022). Additive manufacturing for sustainability: A systematic literature review. *Sustainable Futures*, 4, 100098.
- [18] Khalid, M., & Peng, Q. (2021). Sustainability and environmental impact of additive manufacturing: A literature review. *Computer-Aided Design and Applications*, 18(6), 1210-1232.
- [19] Singh, G., Mehta, A., & Vasudev, H. (2024). Sustainability of additive manufacturing: A comprehensive review. *Progress in additive manufacturing*, 9(6), 2249-2272.
- [20] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Suman, R., & Rab, S. (2021). Role of additive manufacturing applications towards environmental sustainability. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 4(4), 312-322.
- [21] Weaver, E., O'Hagan, C., & Lamprou, D. A. (2022). The sustainability of emerging technologies for use in pharmaceutical manufacturing. *Expert Opinion on Drug Delivery*, 19(7), 861-872.
- [22] Su, J., Ng, W. L., An, J., Yeong, W. Y., Chua, C. K., & Sing, S. L. (2024). Achieving sustainability by additive manufacturing: a state-of-the-art review and perspectives. *Virtual and Physical Prototyping*, 19(1), e2438899.

- [23] Segovia-Guerrero, L., Baladés, N., Gallardo-Galán, J. J., Gil-Mena, A. J., & Sales, D. L. (2025). Additive vs. subtractive manufacturing: a comparative life cycle and cost analyses of steel mill spare parts. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(4), 138.
- [24] Mecheter, A., Tarlochan, F., & Kucukvar, M. (2023). A review of conventional versus additive manufacturing for metals: life-cycle environmental and economic analysis. *Sustainability*, 15(16), 12299.
- [25] Rahmani, R., Bashiri, B., Lopes, S. I., Hussain, A., Maurya, H. S., & Vilu, R. (2025). Sustainable additive manufacturing: an overview on life cycle impacts and cost efficiency of laser powder bed fusion. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 9(1), 18.
- [26] Pusateri, V., & Olsen, S. I. (2024). LCA and LCC of wire arc additively manufactured and repaired parts compared to conventional fabrication techniques. *Procedia CIRP*, 122, 491-496.
- [27] Sauerwein, M., Doubrovski, E., Balkenende, R., & Bakker, C. (2019). Exploring the potential of additive manufacturing for product design in a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1138-1149.
- [28] Duve, M., Petasch, D., Lüdemann-Ravit, B., & Heieck, F. (2024, November). The role of metal additive manufacturing in a circular economy. In *Stuttgart Conference on Automotive Production* (pp. 383-401). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [29] Gouveia, J. R., Pinto, S. M., Campos, S., Matos, J. R., Costa, C., Dutra, T. A., ... & Oliveira, L. (2022). Life cycle assessment of a circularity case study using additive manufacturing. *Sustainability*, 14(15), 9557.
- [30] Matos, J., Caneve, E., Silva, A., & Pedrosa, P. (2026). Integrating life cycle assessment, life cycle cost and circularity indicators: A new perspective on sustainable injection mold evaluation with additive manufacturing. *Preprints*.
<https://www.preprints.org/manuscript/202602.0930>
- [31] Manco, P., Caterino, M., Rinaldi, M., & Fera, M. (2023). Additive manufacturing in green supply chains: A parametric model for life cycle assessment and cost. *Sustainable Production and Consumption*, 36, 463-478.

COMPARATIVE ANALYSIS OF RANDOM SEARCH-TUNED LSTM, GRU, AND BiLSTM MODELS FOR LITHIUM-ION BATTERY CAPACITY DEGRADATION PREDICTION

Sertaç SAVAŞ

Erciyes University, Mechatronics Engineering Department, Kayseri, TÜRKİYE
sertacsavas@erciyes.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-8096-1140

ABSTRACT

Lithium-ion batteries are widely used as critical energy storage components in many applications, particularly in electric vehicles and portable electronic devices. Accurate prediction of their remaining useful life (RUL) is crucial for system reliability and predictive maintenance. In this study, the predictive performance of LSTM, GRU, and BiLSTM deep learning models for capacity degradation is compared using the Li-ion battery aging dataset from the NASA Prognostics Center of Excellence (PCoE). The model hyperparameters (number of hidden-layer neurons, lookback window size, and learning rate) are optimized using the Random Search method. The experimental studies are conducted on three batteries (B0005, B0006, B0007), and model performances are evaluated using RMSE, MAE, and MAPE metrics. The results show that the GRU model achieves the lowest MAPE and performs better than LSTM and BiLSTM. The GRU model for the B0006 battery achieves the lowest RMSE of 0.0155. These findings reveal that the GRU architecture is a promising alternative for battery prognostics, offering both computational efficiency and prediction accuracy.

Keywords: Lithium-ion battery, capacity degradation, battery prognostics, recurrent neural networks, random search optimization.

1. INTRODUCTION

Owing to their high energy density, long cycle life, and low self-discharge rate, lithium-ion batteries have become the dominant energy-storage technology in applications ranging from portable electronics to electric vehicles. Accurate prediction of their aging processes and capacity degradation is of great importance for system reliability and predictive maintenance strategies. While traditional physics-based modeling approaches have shown limited success due to the complexity of electrochemical processes in batteries, data-driven machine learning and deep learning methods have emerged as promising alternatives in this field.

Recurrent neural networks (RNNs) are often preferred for battery life prediction problems because they can learn sequential dependencies in time-series data. However, standard RNN architectures suffer from the vanishing gradient problem when learning long-term

dependencies. To address this issue, Long Short-Term Memory (LSTM) networks, proposed by Hochreiter and Schmidhuber in 1997 [1], can effectively model long-term dependencies by controlling information flow through gating mechanisms. Similarly, the Gated Recurrent Unit (GRU) architecture developed by Chung et al. in 2014 [2] offers comparable performance with fewer parameters than LSTM. In addition, the Bidirectional LSTM (BiLSTM) structure proposed by Schuster and Paliwal [3] processes the input sequence in both forward and backward directions, providing access to past and future contextual information at each time step.

Many studies have investigated battery health and remaining useful life (RUL). Zhao et al. [4] proposed an Attention–Convolutional Neural Network–Bidirectional Long Short-Term Memory (AT-CNN-BiLSTM)–based approach for State of Health (SOH) and RUL prediction. Zhao et al. [5] proposed a Deep Transfer Learning (DTL)–based hybrid model that combines a CNN and a Self-Attention (SA) component for SOH estimation during fast charging. Khan et al. [6] proposed a CNN-BiLSTM hybrid model tuned via the Group Learning Algorithm (GLA) for State of Charge (SOC) estimation in electric vehicles. Bairwa et al. [7] compared Multilayer Perceptron (MLP), GRU, LSTM, and Temporal Convolutional Network (TCN) architectures for cycle-based SOH estimation using NASA cell data, reporting that MLP/TCN provides the best balance between accuracy and computational efficiency. Kim and Lee [8] proposed an LSTM-based deep learning model that learns temporal dependencies in sequential data for SOC estimation in lithium-ion batteries and demonstrated its performance under different operating conditions.

Yao et al. [9] proposed a CNN-based hybrid model integrating two methods for SOH estimation in lithium-ion batteries. They reported more stable and accurate SOH predictions on NASA Ames data compared with conventional approaches. Huang et al. [10] proposed the DPformer model, which integrates components from three methods to achieve noise reduction and capture long-term dependencies for capacity and RUL prediction. They tuned hyperparameters using an improved Particle Swarm Optimization (PSO) method and reported improved generalization and reduced error on two public datasets. Zhao et al. [11] proposed a hybrid architecture combining LSTM and Transformer for RUL prediction, jointly modeling local temporal patterns and global dependencies. Chen and Fang [12] introduced a multi-channel (voltage/current/temperature) framework that captures long-range dependencies using a Dilated One-Dimensional Convolutional Neural Network (Dilated 1D-CNN) and is trained via Differential Evolution (DE)–based evolutionary optimization for RUL prediction. Shi et al. [13] proposed an encoder–decoder model that combines Bidirectional Gated Recurrent Units (BiGRU) with a two-stage Attention Mechanism (AM), reporting higher accuracy and generalization on the NASA and CALCE datasets.

In this study, the predictive performance of LSTM, GRU, and BiLSTM deep learning models for capacity degradation is compared using the Li-ion battery aging dataset provided by NASA PCoE. Model hyperparameters are optimized using the Random Search method, and prediction performance is evaluated using RMSE, MAE, and MAPE. The results identify the most suitable

model architecture and hyperparameter configuration for each battery and further demonstrate the effectiveness of RNN-based approaches in battery prognostics applications.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset Description and Preprocessing

In this study, a time-series forecasting task is performed on discharge capacity data using the NASA PCoE Battery Dataset. The analysis considers data from three batteries (B0005, B0006, and B0007), and the values are scaled to the [0,1] range using Min–Max normalization. For modeling, the dataset is split into 80% for training and 20% for testing. The end-of-life (EOL) criterion is defined as a 30% capacity loss, and EOL is assumed when the nominal capacity decreased from 2 Ah to 1.4 Ah. The Min–Max normalization is given in Equation 1.

$$x_{\text{norm}} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

where $x_{\min}$ and $x_{\max}$ denote the minimum and maximum values of the corresponding variable (e.g., the capacity series) in the dataset. Figure 1 illustrates the battery capacity degradation profiles.

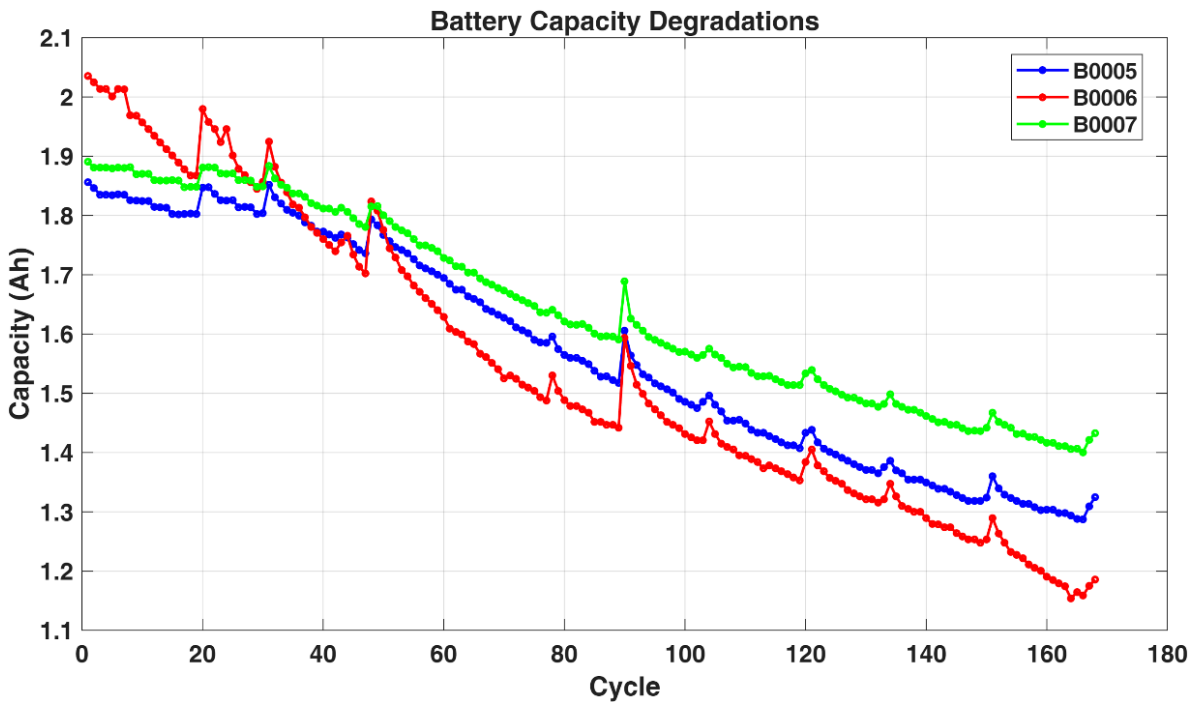


Figure 1. Battery capacity degradation profiles

2.2. Deep Learning Models

Long Short-Term Memory (LSTM) networks were introduced by Hochreiter and Schmidhuber [1] in 1997 to overcome the limitations of standard recurrent neural networks (RNNs) in

learning long-term dependencies. In conventional RNNs, error gradients propagated backward through time may exponentially decay (the vanishing gradient problem) or grow (the exploding gradient problem). This hinders the network from effectively learning information from many time steps earlier.

To address this issue, the LSTM architecture employs specialized memory cells and gating mechanisms. Each LSTM unit consists of three main gates: the input gate, the forget gate, and the output gate. The input gate controls the extent to which new information is added to the cell state, while the forget gate determines which information from the previous cell state should be discarded. The output gate regulates how much of the cell state is exposed as the output. Through these gating mechanisms, LSTM enables a constant error flow, allowing it to learn dependencies spanning long time horizons.

The Gated Recurrent Unit (GRU) is an RNN architecture proposed by Chung et al. [2] in 2014 as an alternative to LSTM. While preserving the advantages of gating mechanisms, GRU provides a simplified structure. Unlike LSTM, which uses three gates, GRU employs only two: the reset gate and the update gate. Moreover, GRU uses a single hidden-state vector rather than maintaining separate cell and hidden states as in LSTM.

The reset gate controls how much of the previous hidden state is forgotten, enabling the model to effectively reset past information when new input patterns need to be captured. The update gate plays a combined role analogous to the input and forget gates in an LSTM, determining how much of the previous hidden state to retain and how much new information to incorporate. This simplified design allows GRU to be trained with fewer parameters than LSTM, improving computational efficiency.

Bidirectional LSTM (BiLSTM) is formed by combining the Bidirectional Recurrent Neural Network (BRNN) concept proposed by Schuster and Paliwal [3] in 1997 with the LSTM architecture. Standard unidirectional LSTM networks process the input sequence in only one direction (from past to future), thereby accessing only past contextual information at each time step. However, in many applications—particularly in natural language processing and speech recognition—jointly leveraging both past and future context can yield more accurate predictions.

The BiLSTM architecture consists of two separate LSTM layers: a forward LSTM and a backward LSTM. The forward LSTM processes the sequence from $(t=1)$ to $(t=T)$, whereas the backward LSTM processes the same sequence from $(t=T)$ to $(t=1)$. At each time step, the outputs of these two LSTM layers are concatenated to form the final output vector. This structure enables the model to use contextual information from the entire sequence at each time step.

2.3. Experimental Design and Performance Criteria

In this study, three different deep learning architectures, LSTM, GRU, and BiLSTM-based, are developed for time-series forecasting of capacity degradation for three batteries, and three key

hyperparameters of each model are optimized via Random Search: the number of hidden units (numUnits), the lookback window length, and the learning rate. All architectures share the same backbone consisting of a sequenceInputLayer(1) input layer, the corresponding recurrent layer (lstmLayer for LSTM, gruLayer for GRU, and bilstmLayer for BiLSTM), 'last' output mode (i.e., using the output from the final time step), a fullyConnectedLayer(1), and a regressionLayer as the output layer. The structural differences among the models arise from their gating mechanisms: LSTM uses three gates (input–forget–output), GRU uses two gates (reset–update), while BiLSTM runs the LSTM gating mechanism in both directions due to its bidirectional structure (i.e., two-directional LSTM logic).

For hyperparameter optimization, Random Search is conducted with 30 random trials; candidate parameter combinations are sampled from a uniform distribution, and the best parameter set is selected by minimizing RMSE. Table 1 presents the training parameters and their descriptions.

Table 1. Training parameters and descriptions

Parameter	Value	Description
Optimizer	Adam	Adaptive Moment Estimation
MaxEpochs	100	Maximum number of epochs
GradientThreshold	1	Gradient clipping threshold
Shuffle	'every-epoch'	Shuffle data at every epoch
Hidden Units	[16, 64] linear	Number of hidden units (optimized)
Lookback	[3, 10] linear	Window length (past cycles) (optimized)
Learning Rate	[10 ⁻⁴ , 10 ⁻²] logarithmic	Initial learning rate (optimized)

In the study, three error criteria are used as evaluation metrics: RMSE (Root Mean Squared Error), which is the square root of the average squared differences; MAE (Mean Absolute Error), which is the average of absolute differences; and MAPE (Mean Absolute Percentage Error), which is the average percentage error. The calculation procedures of these evaluation criteria are given in Equations 2-4.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - p_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - p_i| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{y_i - p_i}{y_i} \right| \cdot 100 \quad (4)$$

In the equations, N denotes the number of samples, y_i is the actual value of the i th observation, p_i is the predicted value of the i th observation.

3. RESULTS

In this section, the performance of the Random Search–optimized LSTM, GRU, and BiLSTM models in predicting capacity degradation for batteries B0005, B0006, and B0007 is presented. First, Table 2 reports the optimal hyperparameter values (number of hidden units, lookback window length, and learning rate) for each battery–model pair, along with the corresponding performance metrics (RMSE, MAE, and MAPE). Next, Figure 2 compares the MAPE values of the models. Figures 3–5 present the absolute error box plots for B0005, B0006, and B0007, respectively. Figures 6 and 7 show, respectively, the predicted capacity degradation curve and the corresponding error plot for B0005; Figures 8 and 9 present the same plots for B0006; and Figures 10 and 11 provide the prediction and error plots for B0007.

Table 2. Hyperparameters determined by Random Search and the prediction performances of the models

Battery	Model	Hidden Units	Lookback	Learning Rate	RMSE	MAE	MAPE (%)
B0005	LSTM	62	7	0.00305	0.0221	0.0097	0.73
	GRU	27	3	0.00587	0.0217	0.0068	0.51
	BiLSTM	49	4	0.00870	0.0212	0.0078	0.59
B0006	LSTM	59	7	0.00594	0.0333	0.0269	2.20
	GRU	27	7	0.00976	0.0155	0.0104	0.84
	BiLSTM	50	4	0.00768	0.0268	0.0217	1.77
B0007	LSTM	55	7	0.00275	0.0211	0.0076	0.53
	GRU	21	3	0.00698	0.0190	0.0052	0.36
	BiLSTM	46	7	0.00976	0.0214	0.0078	0.54

Table 2 summarizes the hyperparameters selected by Random Search and the corresponding prediction performances. For battery B0005, the BiLSTM model achieves the lowest RMSE (0.0212), whereas the GRU model yielded the lowest MAE (0.0068) and MAPE (0.51%). For battery B0006, the GRU model achieves the best performance across all metrics (RMSE: 0.0155, MAE: 0.0104, MAPE: 0.84%), with substantially lower errors compared to the LSTM and BiLSTM models. For battery B0007, the GRU model again provides the best results, producing the lowest RMSE (0.0190), MAE (0.0052), and MAPE (0.36%). Overall, the GRU model delivers the best prediction performance on two of the three batteries and remained competitive on B0005, where its RMSE was very close to that of the best-performing model while achieving a lower MAPE.

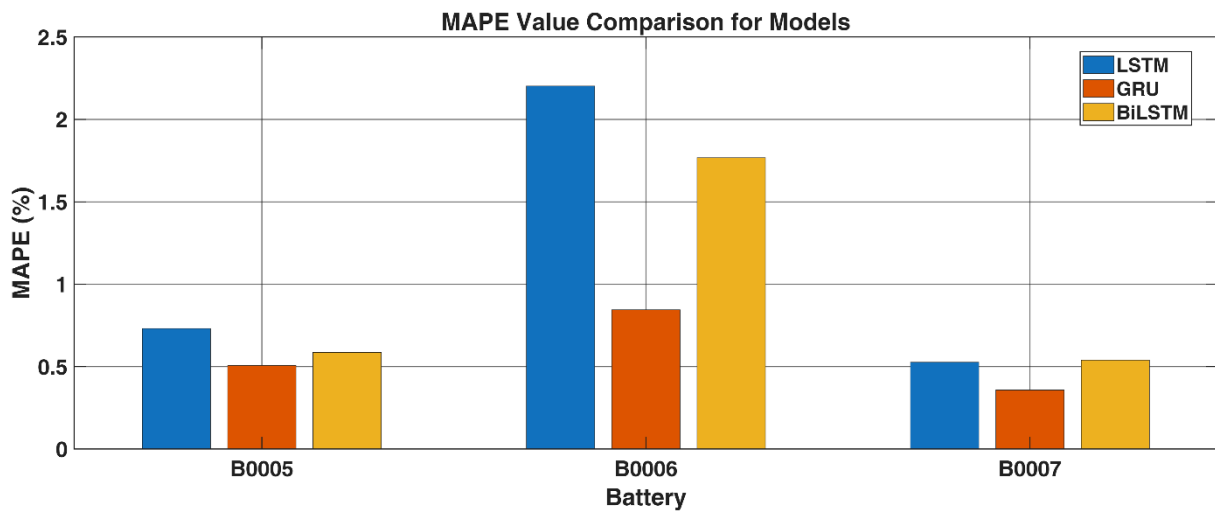


Figure 2. Comparison of the models' MAPE values

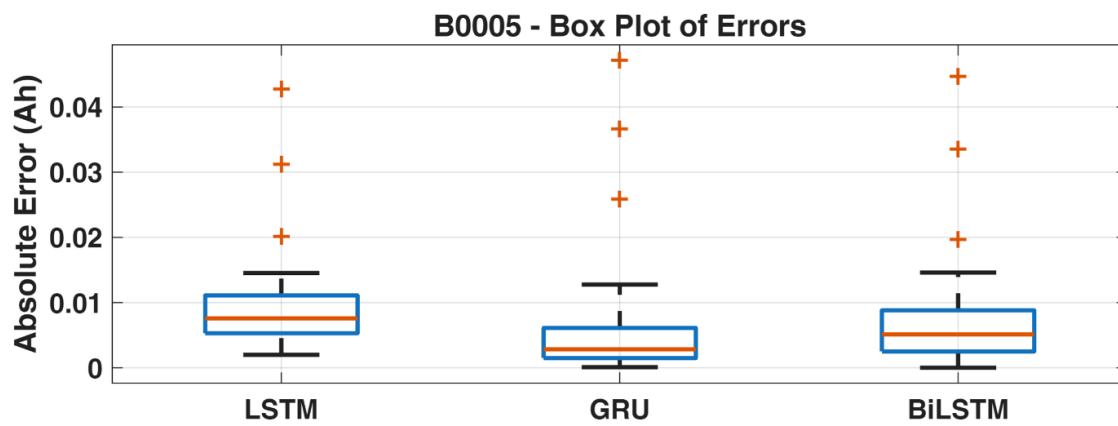


Figure 3. Absolute error box plot for battery B0005



Figure 4. Absolute error box plot for battery B0006

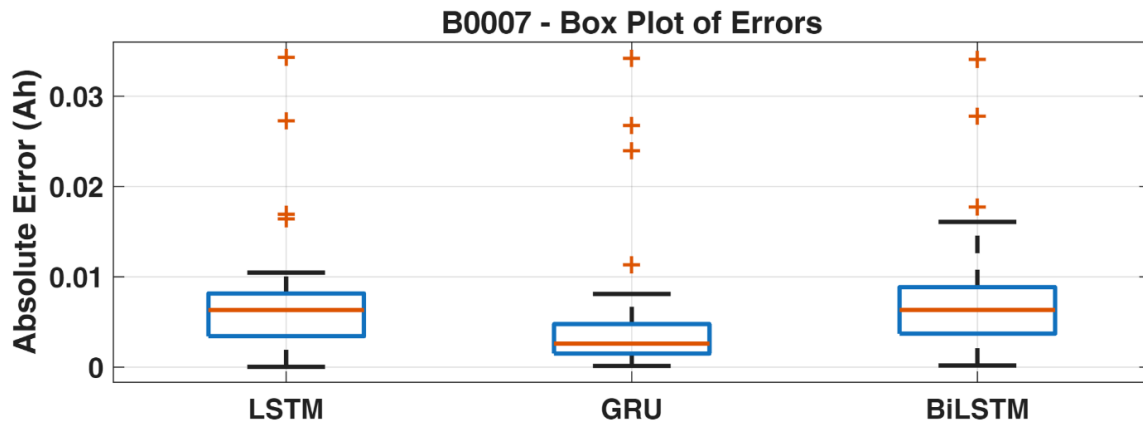


Figure 5. Absolute error box plot for battery B0007

From Figure 3, the box plot of absolute error distributions for battery B0005 indicates that the GRU model has the lowest median error and the narrowest interquartile range (IQR). Outliers are present for all three models, reflecting the difficulty of predicting abrupt changes during capacity recovery cycles. Figure 4 shows that, for battery B0006, the performance differences among the models are most pronounced: the GRU model exhibits both the lowest median error and the tightest error distribution. In Figure 5, all models present similarly low error distributions for battery B0007. Although the GRU model still has the lowest median error, the differences among the three models are more minor than those observed for B0005 and B0006.

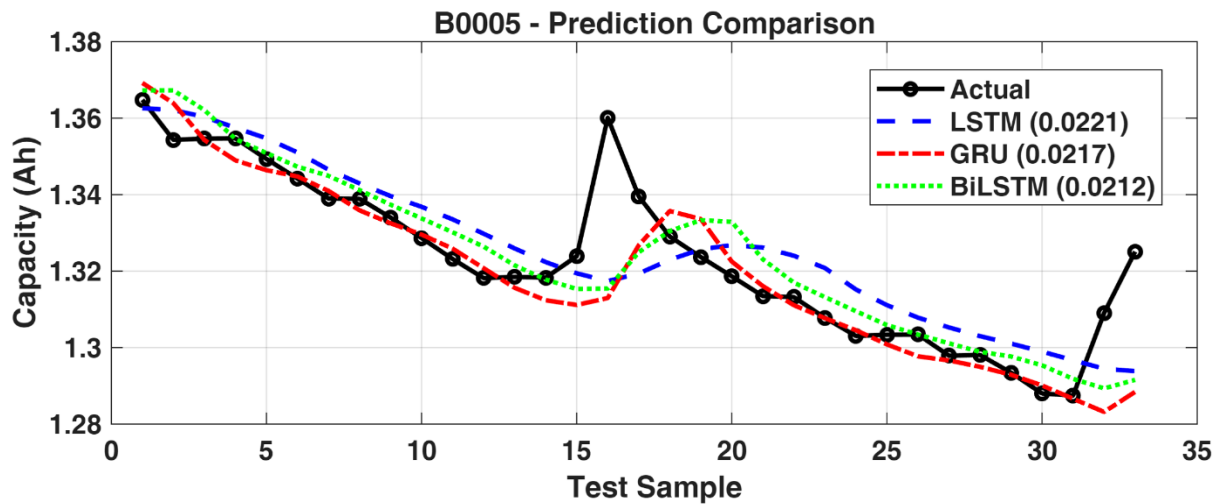


Figure 6. Capacity degradation prediction curves for B0005

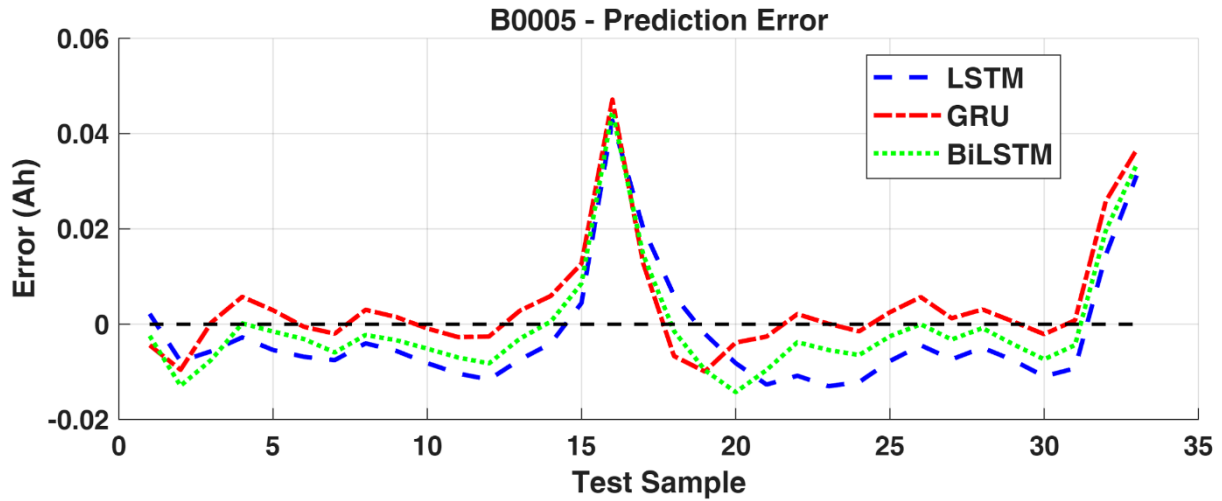


Figure 7. Prediction error curves for B0005

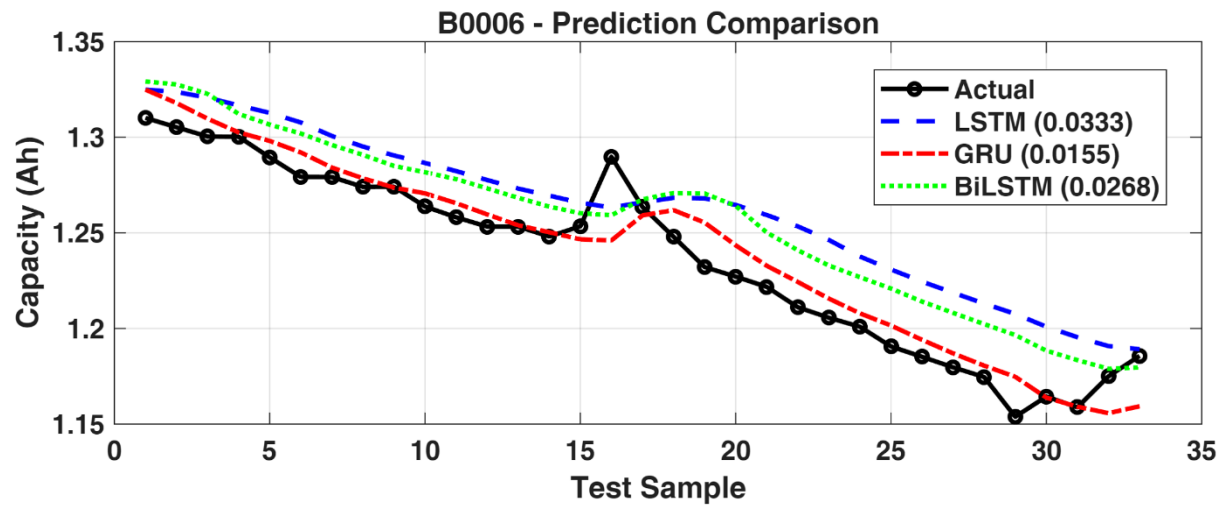


Figure 8. Capacity degradation prediction curves for B0006

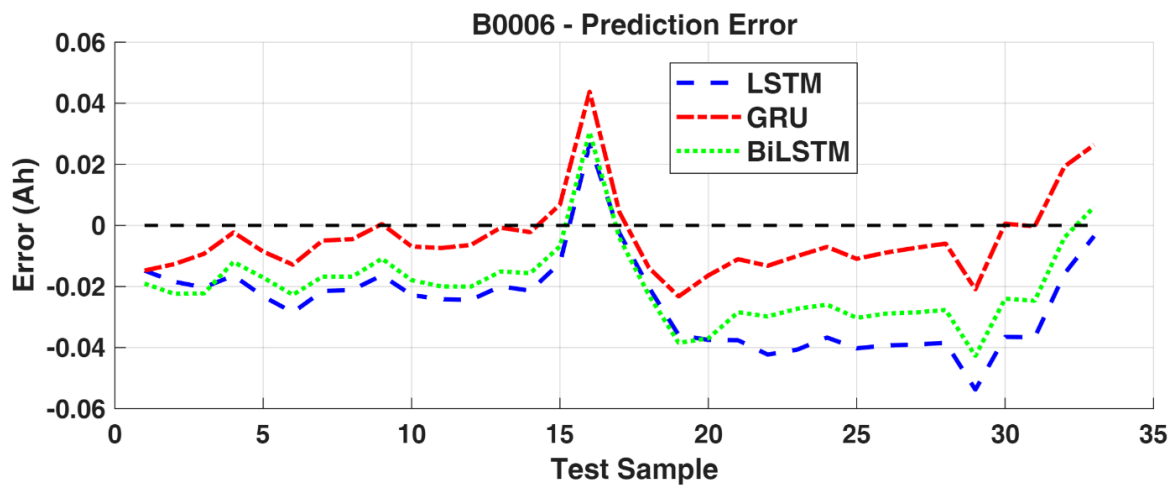


Figure 9. Prediction error curves for B0006

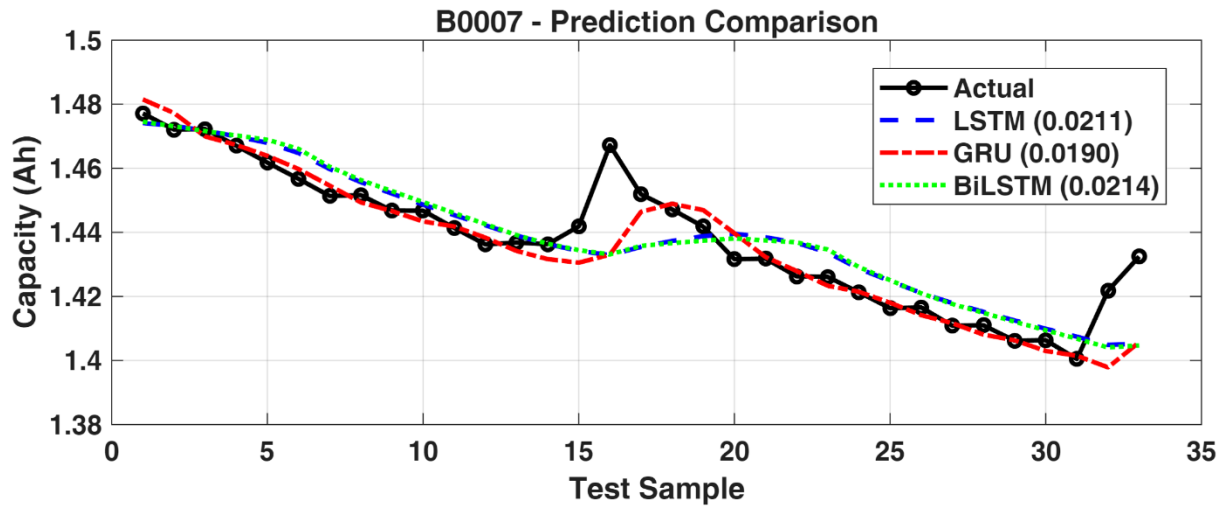


Figure 10. Capacity degradation prediction curves for B0007

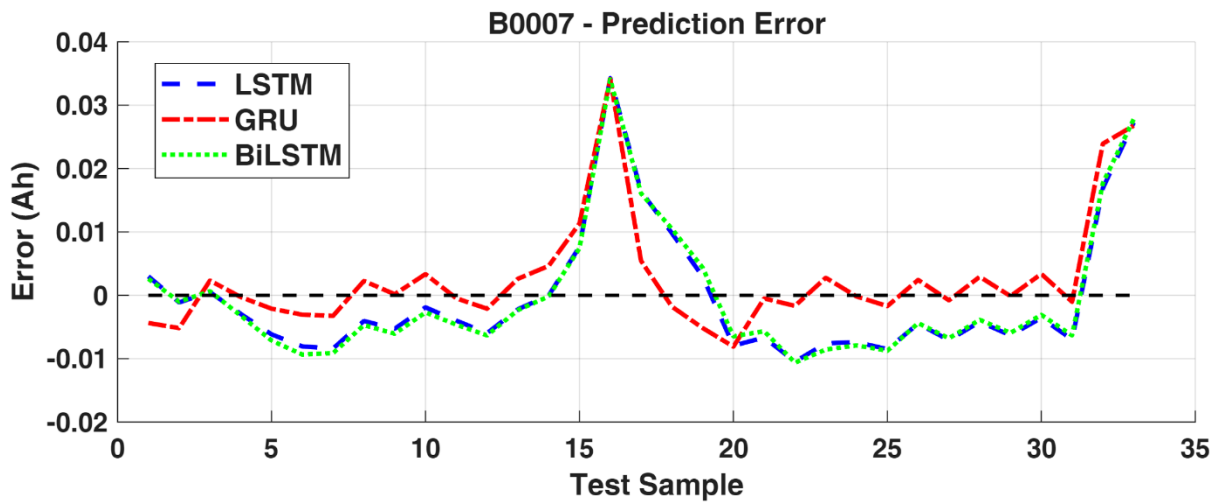


Figure 11. Prediction error curves for B0007

Inspection of the prediction curves indicates that GRU captures the true degradation trend more effectively. This observation is further supported by the error plots, which show that the GRU error remains closer to zero. However, for all three batteries, a noticeable increase in the actual capacity values occurs around test samples 15–20, and all models struggle to accurately track this change. The capacity regeneration phenomenon poses a key challenge for forecasting, as the observed abrupt capacity increases deviate from the monotonic decreasing trend learned during training and lead to elevated prediction errors. This behavior may be related to changes in measurement conditions or temporary reversibility in electrochemical processes. Nevertheless, after this disturbance, the GRU model can realign with the overall trend of the series. In contrast, the other models (e.g., for battery B0006) tend to drift further away from the actual values.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the predictive performance of LSTM, GRU, and BiLSTM deep learning models for capacity degradation is comprehensively compared using the NASA PCoE Li-ion battery aging dataset. By optimizing hyperparameters via Random Search, the most suitable configurations for each model are identified, and experimental validation is conducted on three different batteries (B0005, B0006, and B0007).

The results indicate that the GRU model is the most successful architecture overall, achieving the lowest prediction errors on two of the three batteries (B0006 and B0007). In particular, the RMSE value of 0.0155 obtained by GRU on battery B0006 represents the lowest error reported in this study. This superior performance can be attributed to GRU's ability to deliver results comparable to or better than LSTM's with fewer parameters. Its simplified two-gate structure (reset and update gates) provides sufficient flexibility for modeling relatively smooth, monotonically decreasing trends such as battery capacity degradation, while reducing the risk of overfitting that can arise from excessive model complexity. Although the BiLSTM model achieves the lowest RMSE on battery B0005 (0.0212), it falls behind GRU in the overall performance assessment. Moreover, GRU's RMSE for this battery is 0.0217, which is very close to BiLSTM's. The LSTM model, on the other hand, produces higher errors than the GRU across all three batteries.

An examination of the hyperparameters obtained through Random Search further shows that GRU models generally achieve the best performance with fewer hidden units (21–27). This is consistent with GRU's more compact structure and suggests that fewer parameters can be optimized effectively. In contrast, the LSTM and BiLSTM models require larger numbers of hidden units (46–62), indicating that more complex architectures tend to require greater parameter capacity.

REFERENCES

- [1] Hochreiter, S., Schmidhuber, J. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, 9(8), 1735-1780, 1997. <https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>
- [2] Chung, J., Gulcehre, C., Cho, K., Bengio, Y. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling. *arXiv preprint arXiv:1412.3555*, 2014. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1412.3555>
- [3] Schuster, M., Paliwal, K.K. Bidirectional recurrent neural networks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 45(11), 2673-2681, 1997. <https://doi.org/10.1109/78.650093>
- [4] Zhao, F.M., Gao, D.X., Cheng, Y.M., Yang Q. Application of state of health estimation and remaining useful life prediction for lithium-ion batteries based on AT-CNN-BiLSTM. *Sci Rep* 14, 29026, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80421-2>
- [5] Zhao, J., Li, D., Li, Y., Shi, D., Nan, J., Burke, A.F. Battery state of health estimation under fast charging via deep transfer learning. *iScience*, 18;28(5):112235, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.112235>

- [6] Khan, M.K., Houran, M.A., Kauhaniemi, K., Zafar, M.H., Mansoor, M., Rashid, S. Efficient state of charge estimation of lithium-ion batteries in electric vehicles using evolutionary intelligence-assisted GLA-CNN-Bi-LSTM deep learning model. *Heliyon*, 10(15): e35183, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35183>
- [7] Bairwa, B., Pareek, K., Jadoun, V.K. Cycle based state of health estimation of lithium ion cells using deep learning architectures. *Sci Rep* 15, 37078, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-20995-7>
- [8] Kim, S.-B., Lee, S.-H. Application of Deep Learning Techniques for the State of Charge Prediction of Lithium-Ion Batteries. *Applied Sciences*, 14(17), 8077, 2024. <https://doi.org/10.3390/app14178077>
- [9] Yao, Q., Song, X., Xie, W. State of health estimation of lithium-ion battery based on CNN–WNN–WLSTM. *Complex Intell. Syst.* 10, 2919–2936, 2024. <https://doi.org/10.1007/s40747-023-01300-3>
- [10] Huang, D., Ran, Q., Yang, J., Wang, D., Su, X. A novel remaining useful life prediction for the lithium-ion battery using DPformer and enhanced optimization techniques. *Ionics* 31, 3295–3309, 2025. <https://doi.org/10.1007/s11581-025-06156-w>
- [11] Zhao, T., Zhang, Y., Wang, M., Feng, W., Cao, S., Wang, G. A hybrid LSTM–transformer model for accurate remaining useful life prediction of lithium-ion batteries. *Frontiers in Electronics*, 6, 2025. <https://doi.org/10.3389/felec.2025.1654344>
- [12] Chen, S., Fang, X. Remaining useful life prediction of lithium–ion batteries via spatial attention TLSTM and dilated CNN with evolutionary optimization. *Sci Rep* 15, 32340, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-17610-0>
- [13] Shi, Z., Ibrahim, A.W., Xu, J., Zeng, L., Farh, H.M.H., Al-Shamma’a, A.A., Ameer, K. Enhanced remaining useful life prediction of lithium-ion battery based on a dual attention hybrid data-driven method. *Sci Rep* 16, 1303, 2026. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30849-x>

HAVA ARACI RAMP KONTROLLERİNDE TESPİT EDİLEN UÇAK SİSTEMLERİNE İLİŞKİN TEKNİK BULGULARIN KATEGORİK ANALİZİ VE AZALTIM YAKLAŞIMLARI

Dr. ERDAL YEŞİLBAŞ

Katar Sivil Havacılık Otoritesi (Qatar Civil Aviation Authority - QCAA)

E-posta Adresi: erdal.yesilbas@caa.gov.qa - ORCID ID: 0000-0001-9510-2023

ÖZET

Hava aracı ramp kontrolleri, uçuş emniyetini doğrudan etkileyebilecek teknik sorunların operasyon öncesi tespitine olanak sağladığı için hayati önem taşımaktadır. Bu kontrollerin sonuçları, bireysel uygunsuzluklara ek olarak sistemik risk eğilimlerini ortaya koyan önemli emniyet verileri olarak değerlendirilmelidir. Bu çalışma, hava aracı ramp kontrolleri sırasında tespit edilen uçak sistemleriyle ilgili teknik bulguların kategorik dağılımını analiz etmeyi ve havacılık emniyeti açısından bu teknik sorunlar için potansiyel azaltma stratejilerini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışma içerisinde Avrupa Birliği Ramp Denetim Programı (EU Ramp Inspection Programme) kapsamında gerçekleştirilen ramp kontrollerinin sonuçları uçak sistemleri özelinde kategorize edilmiş ve frekans tabanlı bir analiz yöntemi kullanılarak tespit edilen teknik aksaklıkların kategorik yoğunlukları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, belirli uçak sistem gruplarında tekrarlayan tespitlerin yoğunlaştığını göstermektedir; ki bu durum organizasyonlardaki teknik prosedürler, insan faktörleri ve uygulanan hava aracı bakım yöntemleriyle doğrudan ilgilidir. Bununla birlikte, analiz sonuçları, ramp kontrol bulgularının yalnızca operasyonel düzeyde ele alınmalarının yetersiz olduğunu göstermekte olup, hava aracı işleticilerinin emniyet yönetim sistemleri (SMS) ve söz konusu işleticilerin bağlı bulunduğu devletlerin havacılık emniyet programları (SSP) çerçevesinde risk tabanlı ve proaktif bir yaklaşımla değerlendirilmeleri gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, sistem tabanlı risk önceliklendirmesi, hedefe odaklı emniyet önlemleri ve geri bildirim mekanizmalarının güçlendirilmesi, tespit edilen teknik sorunların havacılık emniyeti üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için özellikle yararlı araçlardır. Çalışma sonucunda elde edilen çıkarımların, sivil havacılık camiasında hem kural koyucuların hem de hizmet sağlayıcıların veriye dayalı emniyet kararları alma süreçlerine olumlu katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler : Hava Aracı Ramp Kontrolleri, Uçak Sistem Arızaları, Uçuş Emniyeti.

**ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GÜÇLENDİRİLMİŞ KATMAN
FORMÜLASYONUNDA SPEKTROSKOPİK VE TERMAL ANALİZ YAKLAŞIMI**
*(Spectroscopic and Thermal Analysis of the Reinforced Layer Formulation of Electric
Bicycle Tires)*

Gasim ALTUNDAL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, gasim.altundal@anlas.com.tr - 0000-0002-8856-4737

Prof.Dr., Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi, husnugerengi@duzce.edu.tr - 0000-0002-9663-4264

Canan YÜKSEL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, canan.yuksel@anlas.com.tr - 0009-0000-7510-8022

Doğaç ÇAĞIL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, dogac.cagil@anlas.com.tr - 0009-0006-9565-8527

Emine DEMİR

Düzce Üniversitesi, emine.demir@anlas.com.tr - 0000-0002-8716-4520

ÖZET

Elektrikli bisikletlere olan ilginin artması ile bu araçlarda kullanılan lastiklerin performans gereksinimleri de önemli bir değişim göstermiştir. Özellikle, yuvarlanma direncinin düşürülmesi ve delinme direncinin artırılması elektrikli bisiklet lastikleri için kritik performans unsurları haline gelmiştir. Bu bağlamda, lastik yapısında delinmeye karşı direnç sağlayan güçlendirilmiş katman unsuru, performansın en belirleyici öğelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, elektrikli bisiklet lastiklerinde kullanılan güçlendirilmiş katman formülasyonu, ileri spektroskopik ve termal analiz yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Piyasada performans açısından lider konumda bulunan referans ürünlerin (A, B ve C markaları olarak kodlanmıştır) yapısal karakterizasyonu Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile gerçekleştirilmiş; ürün formülasyonlarının genel bileşen dağılımlarının belirlenmesi amacıyla Termogravimetrik Analiz (TGA) eğrilerinden yararlanılmıştır. Elde edilen termal bozunma profilleri, rakip ürünlerde kullanılan dolgu sistemlerinin rastgele seçilmediğini; yüksek performanslı numunelerde inorganik dolgu (beyaz dolgu) oranının kütlece yaklaşık %20 seviyesinde optimize edildiğini, karbon siyahı kullanımının ise %8 ile sınırlandırıldığını ortaya koymuştur. Bu veriler doğrultusunda geliştirilen yeni reçetelerde, beyaz dolgu-polimer etkileşimi, termal dayanım parametreleri (kül miktarı ve bozunma sıcaklıkları) ve referans ürünlerin performans karakteristikleri esas alınarak formülasyon optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Çalışma, tersine mühendislik yaklaşımının spektroskopik ve termal analiz teknikleriyle birleştirilerek, güçlendirilmiş katman reçetesinin geliştirilme sürecini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli bisiklet lastiği, Tersine mühendislik, TGA, FTIR, Güçlendirilmiş katman.

1. GİRİŞ

Özellikle şehir içi ulaşım kolaylığı sağlaması sebebiyle son yıllarda elektrikli araçların kullanımı önemli derecede artış göstermiştir. Bununla birlikte elektrikli bisikletlerin ve lastiklerinin de kullanımı artmıştır.

Lastik, bisikletin en önemli bileşenidir. Hareketi sağlayan, bisikletle yol arasındaki tek bağlantı noktası olan bu ana bileşenin, daha güvenli sürüş sağlaması için darbe ve delinmelere karşı dayanıklı olması son derece önemlidir [1].

Bu bağlamda, bisiklet lastiği yapısında delinmeye karşı direnç sağlayan güçlendirilmiş katman unsuru, performansın en belirleyici öğelerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bisiklet lastiğinin aşınma, yuvarlanma direnci özelliklerinin yanı sıra delinme dayanımını arttırmak amaçlı birçok çalışma yapılmış ve hatta bunlar üzerine patentler de alınmıştır.

Dünya genelinde yeni ürün geliştirmeleri tüm hızıyla devam etmektedir. Rakipler birbirini takip ederek çalışmaları tersine mühendislikle inceleyerek eksi ve artı yönler üzerine yorumlar katarak kendi ürünlerini öne taşımayı hedeflemektedirler. Lastik sektöründe de özellikle kauçuk karışımlarının içeriğini ortaya çıkarabilmek için termogravimetrik analizler [2], dinamik mekanik analizler ve spektroskopik yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, elektrikli bisiklet lastiklerinde kullanılan güçlendirilmiş katman formülasyonu, ileri spektroskopik ve termal analiz yöntemleri kullanılarak geliştirilmiştir. Piyasada performans açısından lider konumda bulunan referans ürünlerin (A, B ve C) yapısal karakterizasyonu Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) ile gerçekleştirilmiş; ürün formülasyonlarının genel bileşen dağılımlarının belirlenmesi amacıyla Termogravimetrik Analiz (TGA) eğrilerinden yararlanılmıştır. Çalışma, tersine mühendislik yaklaşımının spektroskopik ve termal analiz teknikleriyle birleştirilerek, güçlendirilmiş katman reçetesinin geliştirilme sürecini detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Güçlendirilmiş elektrikli bisiklet lastiği imalatında öncü şirketlerin lastiklerinden örnekler ithal edilmiştir. Bu örnekler A, B ve C adları verilmiştir. Bu lastiklerden kesitler çıkarılarak yapıları araştırılmıştır. Bu aşamada klasik lastik üretiminden farklı olarak dış etkenlere karşı dayanıklılığı artırmak amacıyla kauçuk karışımından yapılmış bir katman kullanıldığı gözlemlenmiştir.



Görsel 1. Rakip güçlendirilmiş bisiklet lastikleri (Sırasıyla A, B ve C)

Güçlendirilmiş katman olarak renkli kauçuk karışımların kullanıldığı belirlenmiştir (Görsel 1). Bu doğrultuda, elektrikli bisiklet lastiğinin üretimine yönelik olarak güçlendirilmiş katman karışımının tasarım çalışmalarına başlanmıştır. İlk aşamada, mevcut karışımın bileşenlerini ve yapısal özelliklerini ortaya koymak amacıyla Çizelge 1’de sunulan analizler gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen analiz sonuçları temel alınarak güçlendirilmiş katman için farklı reçeteler tasarlanmış ve laboratuvar ölçeğinde hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların performansının değerlendirilmesi amacıyla reolojik testler Moving Die Rheometer (MDR) ve Scorch (SC) analizleri ile birlikte fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Bu kapsamlı karakterizasyon çalışmaları sonucunda, hedeflenen performans kriterlerini en iyi karşılayan optimum karışımın belirlenmesi amaçlanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Güçlendirilmiş katman karışımlarına yapılan testler

Yapılacaklar Testler	Test Standardı	A	B	C	Karışımlara uygulanan testler
Dinamik Mekanik Analiz (DMA)	-	+	+	+	-
Termogravimetrik Analiz (TGA)	ASTM D6370	+	+	+	-
FTIR)	-	+	+	+	-
Sertlik (Shore A)	ASTM D2240	+	+	+	+
Yoğunluk	ASTM D297	+	+	+	+
Kül Testi	ASTM D1416	+	+	+	+
Moving Die Rheometer (MDR)	ASTM D5289	-	-	-	+
Mooney Scorch (SC)	ASTM D1646	-	-	-	+
Fizikomekanik Testler	ASTM D412	-	-	-	+

2.1. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi analizi (FTIR)

FTIR, kauçukta polimer türünü ve fonksiyonel grupları parmak izi bölgesindeki karakteristik pikler üzerinden hızla tanımlayarak ham madde doğrulaması ve sahtelik tespitinde kritik rol oynar. FTIR ile dolguya duyarlı yüzey spektrumları alınabildiği için plastikleştirici, yağ, antioksidan ve yüzey modifikasyonlarına ilişkin değişimler izlenebilir [5]. FTIR cihazından elde edilecek sonuçlara göre rakip lastiklerin güçlendirilmiş (Yeşil, Kırmızı ve Mor) karışım hamurundaki fonksiyonel gruplarının sahip olduğu farklı şiddetleri ölçülerek hamur karışımında kullanılan kauçuk hammaddeleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu testler, Görsel 2’deki FTIR cihazı ile yapılmıştır.



Görsel 2. FTIR analizlerinde kullanılan spektrometre.

2.2. Termogravimetrik analiz (TGA)

TGA cihazı ile ASTM D6370 standardına göre yapılan teste göre sıcaklıkla malzeme miktarındaki kütle kaybı farkı belirlenmektedir. Kaybolan kütle miktarına göre güçlendirilmiş katman karışımları içeriğindeki yağ, karbon siyahı ve inorganik malzemelerin miktarı hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu testler, Görsel 3'teki cihaz ile yapılmıştır.



Görsel 3. Termogravimetrik analiz (TGA) cihazı.

2.3. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

Rakip lastikten alınan numunenin DMA cihazı analizinde T_g ve belli sıcaklıklarda TanDelta değerleri elde edilerek, Dry grip, Wet Grip, Rolling Resistance performansları hakkında bilgi edinilmiştir. Testler, Görsel 4'deki cihaz ile yapılmıştır.



Görsel 4. Dinamik Mekanik Analiz (DMA) Cihazı.

2.4. Kül Analizi

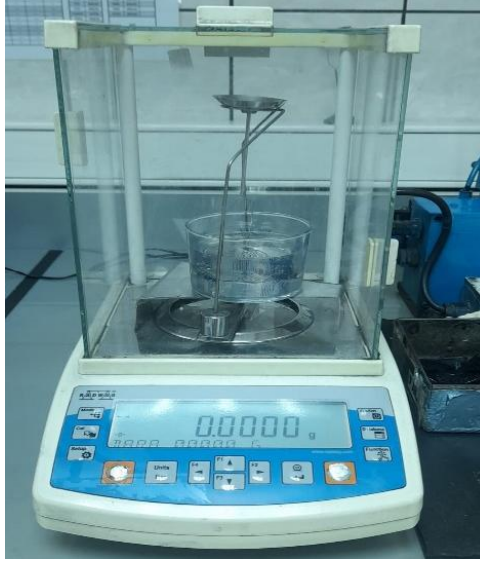
Güçlendirilmiş katman karışımlarındaki inorganik madde oranını belirlemek amacıyla kül testi uygulanmıştır. Bu testler, ASTM D1416 standardına göre Görsel 5’deki cihaz ile yapılmıştır.



Görsel 5. Kül tayini için kullanılan fırın.

2.5. Yoğunluk Analizi

Lastiklerin içerisinde kullanılan karışımların yoğunluğu ölçülerek hacimsel ağırlıkları hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu testler ASTM D297 standardına göre 6’daki cihaz ile yapılmıştır.



Görsel 6. Yoğunluk Ölçme Cihazı.

2.6. Sertlik Analizi

Kauçuk malzemelerin shore A ölçeğinde sertlik seviyesini belirlemek için ASTM D2240 standardına uygun olarak, Görsel 7’deki shoremetre ile gerçekleştirilmiştir.



Görsel 7. Shore A sertlik ölçüm cihazı (shoremetre).

2.7. Moving Die Rheometer (MDR) Testleri

Reometre testleri (Moving Die Rheometer, MDR), oluşturulan karışımların akışkanlık özelliklerini belirlemek amacıyla ASTM D5289 standardına uygun olarak 170 °C’de 10 dakika boyunca Görsel 8’deki cihazla gerçekleştirilmiştir. Bu testler, karışımların Mooney Lowest (ML, en düşük akışkanlık), Mooney Highest (MH, en yüksek viskozite), ts2 (pişirme başlangıç süresi) ve t90 (karışımın %90’ının pişmesi için gereken süre) değerleri hakkında bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, proses davranışlarıyla ilgili önemli veriler sağlamaktadır [2-4].



Görsel 8. MDR Cihazı.

2.8. Mooney Scorch (SC) Testleri

Mooney Scorch (SC) testleri, ASTM D1646 standartlarına uygun olarak 135 °C’de Görsel 9’da gösterilen cihazla gerçekleştirilmiştir. MDR testine benzer şekilde, ML (en düşük viskozite) ve t5 (karışımın %5 oranında pişmesi için geçen süre) değerleri, süreç davranışı hakkında değerli bilgiler sunmaktadır [2-4].



Görsel 9. Mooney Viskozite Cihazı.

2.9. Fizikomekanik Testler

Fizikomekaniksel testler 170 °C’de 5 dakika boyunca presle ısıtıldı ve ardından pişirilmiş plakadan standartlara uygun şekilde papyon örnekleri kesilip test cihazının ilgili

kısmına yerleştirildi ve test süreci sona erdirildi. Kopma, uzama ve %300 modulus testleri ASTM D412 standartlarına uygun olarak Görsel 10'daki tensometre cihazı ile yapılmıştır.



Görsel 10. Tensometre cihazı.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Rakip A, B ve C numunelerinin güçlendirilmiş katman karışımlarına yapılan tüm testlerin sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Rakip Lastiklere Uygulanan Testlerin Sonuçları

			Numune A	Numune B	Numune C
	Karışım Renk		Yeşil	Kırmızı	Mor
	FTIR		NR	NR + SBR	NR + SBR
	TGA (%)	Uçucu Madde ve Polimer	73,9	55,61	76,873
		Karbon siyahı	6,94	8,1	3,048
		İnorganik madde	19,16	36,29	20,079
	Kül (%)		20,37	35,65	21,43
	Yoğunluk (g/cm3)		1,096	1,256	1,107
	Sertlik (Shore A)		52-53	58-59	59-60
	DMA, Tension Metodu	Tg (° C)	DMA testine uygun numune çıkartılamadığı için test yapılamadı.	-52	-46
		tan δ @tg		0,8928	0,8902
tan δ @ 0 °C		0,14		0,15	
tan δ @ 20 °C		0,12		0,14	
tan δ @ 60 °C		0,1		-	

FTIR analizlerinde A örneğinin doğal kauçuk (830 cm⁻¹), B ve C örneklerinin ise doğal ve stiren (964 cm⁻¹) -bütadien (698 cm⁻¹) (SBR) kauçuk pikleri sağladığı belirlenmiştir. TGA

incelemeleri sonucunda, B örneğinde inorganik madde oranının yaklaşık %36 civarı, A ve C örneklerinde ise yaklaşık %20 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir. İnorganik madde oranı, karışımda kullanılan beyaz dolgu maddeleri hakkında bilgi sunmaktadır. Karbon siyahı %3 ile %8 arasında bir oranda kullanılmıştır. A ve C örneklerinden elde edilen polimer ve uçucu madde oranları toplam %76 civarındadır ki bu da özellikle kauçuk miktarlarının yüksek olduğunu gösterir. Burada delinme ve yırtılma gibi fizikomekanik özelliklerde yüksek performans sağlamak amacıyla mükemmel mekanik özellikler, esneklik ve işlenebilirlik sunan polar olmayan bir elastomer [6] olması nedeniyle doğal kauçuk miktarının artırılmış olması mümkündür.

Kül analizindeki değerler ile TGA analizindeki inorganik madde oranlarının birbirine yakın çıkması, analizlerin birbirini destekler nitelikte olduğunu göstermektedir. Yoğunluk analizlerinde, B örneği 1,256 ile en yüksek değeri göstermiştir; bu da karbon ve beyaz dolgu malzemelerinin en çok kullanıldığı örnek olmasından kaynaklanmaktadır. Sertlik değerleri 52 ile 60 Shore A arasında ve ortalama sertlik değerleri olarak gözlemlenmiştir.

DMA analizlerinde, karışımların camı geçiş sıcaklıkları (tg) -55 ve -46 olarak saptanmıştır. Karışımların tg değerlerini, genel anlamda kauçuk grubunun tg değerleri belirler. Karışımda yer alan diğer malzemeler nedeniyle tg değeri genellikle artan bir eğilim göstermektedir. Stiren bütadien kauçuğunun tg değerlerinin -55 ila -35 aralığında [7], doğal kauçuğun ise -72 ila -55 [8] aralığında olduğu bilgisi göz önüne alındığında, rakip örneklerin tg değerleri, doğal kauçuk oranının yüksek tutulduğunu gösteriyor.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Tüm elde edilen verilerden yapılan çıkarımlara göre, siyah ve beyaz renkli olmak üzere Çizelge 3’de belirtilen reçeteler oluşturulmuştur. Bu reçetelere göre karışımlar hazırlanmıştır.

Çizelge 3. Tasarlanan Güçlendirilmiş Katman Karışımı Reçeteleri

Hammaddeler	Beyaz Güçlendirilmiş Katman Karışımı Reçete Denemeleri (phr)				Siyah Güçlendirilmiş Katman Karışımı Reçete Denemeleri			
	Kütlece %	1 (Phr)	2 (Phr)	3 (Phr)	Kütlece %	4 (Phr)	5 (Phr)	6 (Phr)
Doğal Kauçuk	61,4	60	80	100	63,4	60	80	100
Stiren Bütadien Kauçuk		40	20	-		40	20	-
Karbon siyahı	-	-	-	-	6,3	10	10	10
Beyaz dolgu	21,5	35	35	35	19	30	30	30
Aktivatör	9,2	15	15	15	3,2	5	5	5
Stearik asit	0,6	1	1	1	0,6	1	1	1
Koruyucular	4,6	7,5	7,5	7,5	4,8	7,5	7,5	7,5
Pigment	0,1	0,2	0,2	0,2	-	-	-	-
Kükürt	1,6	2,65	2,65	2,65	1,7	2,65	2,65	2,65
Hızlandırıcılar	1,0	1,55	1,55	1,55	1,0	1,55	1,55	1,55

Karışımlar, ana kademe ve son kademe olarak iki kademe hazırlanmıştır. Ana kademe kauçuklar, dolgular ve ana kademe kimyasalları, son kademe ise vulkanizasyon ajanı kükürt ve hızlandırıcı grubu kimyasallar ilave edilerek yapılmıştır. Hazırlanan reçetelere Çizelge 1’de belirtilen testler uygulanarak sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir.

Çizelge 4. Hazırlanan Karışımların Reolojik ve Fizikomekanik Test Sonuçları

Testler	Test parametreleri	Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4	Deneme 5	Deneme 6
Moving Die Rheometer (170 °C, 10 dk)	ML (dN-m)	1,35	1,50	1,85	1,40	1,62	1,9,2
	MH (dN-m)	8,20	8,70	9,40	7,40	8,10	8,90
	ts2 (mm:ss)	2:20	2:12	2:05	02:02	1:55	1:48
	t90 (mm:ss)	3:50	3:42	3:36	3:30	3:25	3:17
Fizikomekanik Testler (170 °C, 5 dk)	KOPMA (kg)	120	132	153	137	149	169
	UZAMA (%)	545	552	582	564	593	612
	MOD.300 (kg)	43,3	47,7	48,1	47,0	49,8	51,2
	SERTLİK (Shore A)	48	50	52	49	52	54
	Yırtılma Kuvveti (kg)	5,20	6,70	7,50	6,90	8,30	9,80
Mooney Scorch Testi (135 °C)	ML 1+4 (MU)	22,00	23,40	24,70	22,20	24,60	25,80
	t5 (mm:ss)	15:20	14:55	14:27	15:36	15:03	14:51

Doğal kauçuğun miktarındaki artış, reolojik özelliklerde ML ve MH değerlerinin yükselmesine yol açmış, ts2 ve t90 değerlerinde ise hafif bir düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, karıştırma işlemlerinde zorluk yaratabilir; ancak pişirme sürelerindeki kısalma, daha fazla lastik üretimi için fırsatlar sunacaktır. Mooney scorch testleri de MDR analizlerini destekleyen bir niteliktedir.

Reolojik özellikler, karışımların üretim prosesi sırasındaki davranışları hakkında bilgi sağlayan değerler olduğundan, işleme kolaylığı, yanma güvenliği ve kürlenme süreleri dikkate alınarak en uygun karışımın seçimi yapılabilir [9].

Fizikomekanik özellikler açısından değerlendirdiğimizde, doğal kauçuğun artışıyla birlikte kopma mukavemeti, uzama ve yırtılma değerlerinde belirgin yükselişler görülmüştür. Bu durumun delinme enerjisine de olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Elde edilen bulgular

doğrultusunda beyaz dolgu miktarının azaltılarak siyah dolgu ile değiştirilmesinin fizikomekanik özelliklerde iyileşmelere neden olduğu gözlemlenmiştir.

TEŞEKKÜRLER: Bu bilimsel çalışma, TÜBİTAK 1505 – Üniversite-Sanayi İş Birliği Destek Programı kapsamında desteklenen “Güçlendirilmiş Yeni Nesil Elektrikli Bisiklet Lastiği Geliştirilmesi” başlıklı proje (Proje No: 5240109) çerçevesinde yürütülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] E. Çetin, H. Gerengi ve G. Altundal, “Delinmeye Karşı Dayanıklı Yüksek Performans Bisiklet Lastiğinin Geliştirilmesi,” *Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi*, Bolu, Türkiye, 2019, ss 441-458.
- [2] G. Altundal, H. Gerengi, E. Çetin, U. Kapcak ve K. Kaymaz. Performans Bisiklet Lastiği Sırt Karışımının Geliştirilmesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2020) 1661-1675. <https://doi.org/10.29130/dubited.698101>
- [3] G. Altundal, T. Görmüşer, M. Kuru, E. Çetin ve İ. Uygur, S-SBR (Solution Stiren Bütadien Kauçuk) Bazlı Kauçuk Karışımlarına Farklı Karbon Siyahlarının Etkisi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8 (2020) 1661-1675, 10 (4), 1865-1872
- [4] E. Çetin, H. Gerengi, Exploring hazelnut shell-derived carbon as an eco-friendly additive in bicycle tire manufacturing. *Materials and Technology*, 59(1)(2025)133-141. <https://doi.org/10.17222/mit.2024.1315>
- [5] Jhon M. C., Infrared Spectroscopy in Analysis of Polymers and Rubbers, *Encyclopedia of Analytical Chemistry*, 2006. <https://doi.org/10.1002/9780470027318.a2015>
- [6] Ç. Çokaçar, İ. Köprü ve S.H. Yetgin. Doğal Kauçuk (NR)/Akrilonitril Bütadien Kauçuk (NBR) Karışımlarının Yağ Direnci Özelliklerinin İncelenmesi Abdelsalam, *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(1), 7-13, 2025. <https://doi.org/10.55581/ejeas.1633775>
- [7] <https://polymers.netzsch.com/Materials/Details/60> (Erişim Tarihi:30.01.2026)
- [8] <https://polymers.netzsch.com/Materials/Details/58> (Erişim Tarihi:30.01.2026)
- [9] E. Demir, G. Altundal, H. Gerengi, C. Yüksel. Investigation of the Potential of Using Liquid Rubbers in Rubber Industry, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 11(2023)21-30. <https://doi.org/10.4236/msce.2023.119002>.

GÜÇLENDİRİLMİŞ YENİ NESİL ELEKTRİKLİ BİSİKLET LASTİĞİ GELİŞTİRİLMESİ: TERSİNE MÜHENDİSLİKTEN PROTOTİPE BÜTÜNLEŞİK METODOLOJİ

*(Development of a Reinforced Next-Generation Electric Bicycle Tire: An Integrated
Methodology from Reverse Engineering to Prototype)*

Gasim ALTUNDAL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, gasim.altundal@anlas.com.tr - 0000-0002-8856-4737

Prof.Dr., Hüsnü GERENGİ

Düzce Üniversitesi, husnugerengi@duzce.edu.tr - 0000-0002-9663-4264

Canan YÜKSEL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, canan.yuksel@anlas.com.tr - 0009-0000-7510-8022

Doğaç ÇAĞIL

Anlas Lastik Şirketi Ar-Ge Merkezi, dogac.cagil@anlas.com.tr - 0009-0006-9565-8527

Beyza AŞIKOĞLU

Düzce Üniversitesi, beyzasikoglu@gmail.com - 0009-0004-9419-9897

ÖZET

Elektrikli bisikletler (e-bike), batarya ve motor bileşenlerinin eklediği ağırlık, yüksek torkun neden olduğu aşınma ve bakım/değişim zorlukları nedeniyle, klasik bisiklet lastiklerine göre çok daha yüksek bir delinme direncine ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma, bu kritik gereksinimi karşılamak amacıyla 'Güçlendirilmiş Yeni Nesil Elektrikli Bisiklet Lastiği' üretim sürecinde tersine mühendislik verilerinin malzeme bilimi ve imalat teknolojileri ile entegrasyonunu içeren kapsamlı bir metodoloji sunmaktadır. Süreç, piyasa üzerindeki önde gelen A, B ve C markalarındaki ürünlerin tersine mühendislik yöntemleriyle detaylıca incelenmesi ve elde edilen polimer yapılarının, dolgu karakteristiklerinin ve sönümleme özelliklerinin referans alınması ile başlamaktadır. Bu bilgiler ışığında, özellikle yüksek yük altında çalışan sırt katmanı için Doğal Kauçuk (NR) ve SBR bazlı çeşitli formül varyasyonları hazırlanmış; bileşimlerin reolojik nitelikleri (ML, MH, ts2, t5, T90) ile mekanik özellikleri (kopma, yırtılma, sertlik) arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmiştir.

Yapılan deneylerde gerçekleştirilen rakip ürün analizlerinde; tüm numunelerin (A, B, C) TS 11187 standardı gereği 40 km/h hız ve 85 kg yük altında 7200 dakikalık yol mukavemeti testini başarıyla tamamladığı, ancak delinme direnci (Plunger) testlerinde Numune A'nın 13 J ile öne çıkarken diğer numunelerin 10 J seviyelerinde kaldığı tespit edilmiştir. Malzeme karakterizasyonunda ise rakiplerin %18-22 aralığında kül oranına sahip olduğu ve sertlik değerlerinin 57 ile 75 Shore A arasında geniş bir dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bu veriler ışığında geliştirilen yeni formülasyonlarda Doğal Kauçuk (NR) oranının artırılması, ts2 (1:35'ten 01:30 dakikaya) ve T90 (3:15'ten 03:05 dakikaya) sürelerinde iyileşme sağlayarak kurlenme hızını artırmıştır. Mekanik özellikler incelendiğinde ise kopma mukavemetinde yaklaşık %30'luk (130'dan 170 kg'a), yırtılma direncinde ise yaklaşık %35'lik (7,0'dan 9,5 kg'a) belirgin bir artış kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli bisiklet lastiği, tersine mühendislik, malzeme karakterizasyonu

1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar hem sağlık hem de çevre üzerinde olumlu etkilere sahipken; ulaşım türünün önemli bir parçası olan elektrikli bisikletler (e-bisiklet), kullanıcı konforu ve sürüş ihtiyaçlarının daha net anlaşılmasını sağlayabilir. Aktif ulaşım, bireyin A noktasından B noktasına gitmesini sağlayan bir tür fiziksel efor gerektiren eylemdir. Bisikletler, aktif ulaşımın yıllardır süregelen parçasıdır. 1817’de Alman Baron Karl “Laufmaschine (Koşu Makinesi)” adında iki tekerlekli, gidonu biraz hareketli bir bisiklet icat etti [1]. Bisiklet kullanımının yıllar içinde artmasıyla birlikte 1970’lerden itibaren Hollanda ve Danimarka, bisiklet kullanımını kolaylaştırmak veya teşvik etmek için ulaşım politikaları düzenlemişlerdir. 1990’lar ile beraber birçok Avrupa şehrinde bisikletler işçi ve orta sınıfın ulaşım aracı olmuştur. Kullanımın artışıyla birlikte 1980’lerde spor ve aktivite eğlencelerine yönelik bisiklet türleri üretilmiştir [2]. Yıllar içerisinde dünya nüfusunun artışı, sanayileşme, motorlu araçlar ve fosil yakıt kullanımıyla birlikte sera gazı emisyonları artmıştır. Enerji güvenliği ve çevre kirliliğine çözüm vaad eden elektrikli araçlar arasındaki elektrikli bisikletler, avantajları nedeniyle dünya çapında büyük ilgi görmektedir [3]. Genellikle küçük boyutlu olmaları, tepelik ve engebeli arazilerdeki sürüş performanslarıyla elektrikli araçlar arasındaki görünürlüğünü arttırmaktadır.

Elektrikli bisiklet lastiklerinde kullanım sırasında hava sızıntısı, ıslak arazide kayma, dış lastiğin çabuk aşınması veya patlaması; kullanıcı ve sürüş güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Elektrikli bisiklet lastiklerinin, farklı arazi tiplerindeki işlevselliğini ve güvenilirliğini arttırmak; kullanıcı ve sürüş güvenliği açısından oldukça önemlidir. “Aşınmaya Dayanıklı Elektrikli Bisiklet Lastiği” patentinde, elektrikli bisiklet dış lastiklerinin aşınmaya karşı dayanımının artırılmasına odaklanılmaktadır. Patent çalışmasında aşınmaya dayanıklı katman oluşturmak için kord bezlerini farklı açılarda yerleştirmişlerdir ve bu tasarım lastiğin yapışma performansını, yol tutuşunu, yanıl dayanımını ve genel aşınma direncini belirgin şekilde artırmıştır; Ayrıca lastiğin içindeki ısı yalıtım katmanını, dış katmanını farklı sıcaklık koşullarında korumakta; sızdırmazlık şeridindeki patlamaya dayanıklı katman ise dış lastik bir yabancı nesne tarafından delindiğinde oluşan açığı otomatik olarak kapatarak korumaktadır [4]. “Kaymaz Elektrikli Bisiklet Lastiği” [5] patentinde ise lityum pilli elektrikli bisiklet lastiklerinin hafif olmalarından dolayı ıslak zeminlerde kaymalarına odaklanılmıştır. Lastik sırt desen tasarımına odaklanılan bu patentte su tahliyesi kanallarına önem verilmiştir.

“Delinmez Tubeless Lastik Yapısı için Kendinden İyileşen Kauçuk Laminatlar” [6] patentinde, lastiğin iç kısmına yerleştirilen ve patlama hasarını onarabilen kauçuk bir bant yerleştirilmiştir. Kauçuk bant, herhangi bir dış uyarı olmadan oda sıcaklığında başlangıçtaki özelliklerine geri dönebilmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, elektrikli bisikletlerin dinamik gereksinimlerini karşılayacak “Güçlendirilmiş Yeni Nesil Elektrikli Bisiklet Lastiği” prototipinin geliştirilmesi amacıyla, tersine mühendislik (reverse engineering) ve ileri malzeme karakterizasyon tekniklerini temel alan bütünleşik bir metodoloji izlenmiştir. Çalışma süreci sistematik olarak üç ana fazda yürütülmüştür:

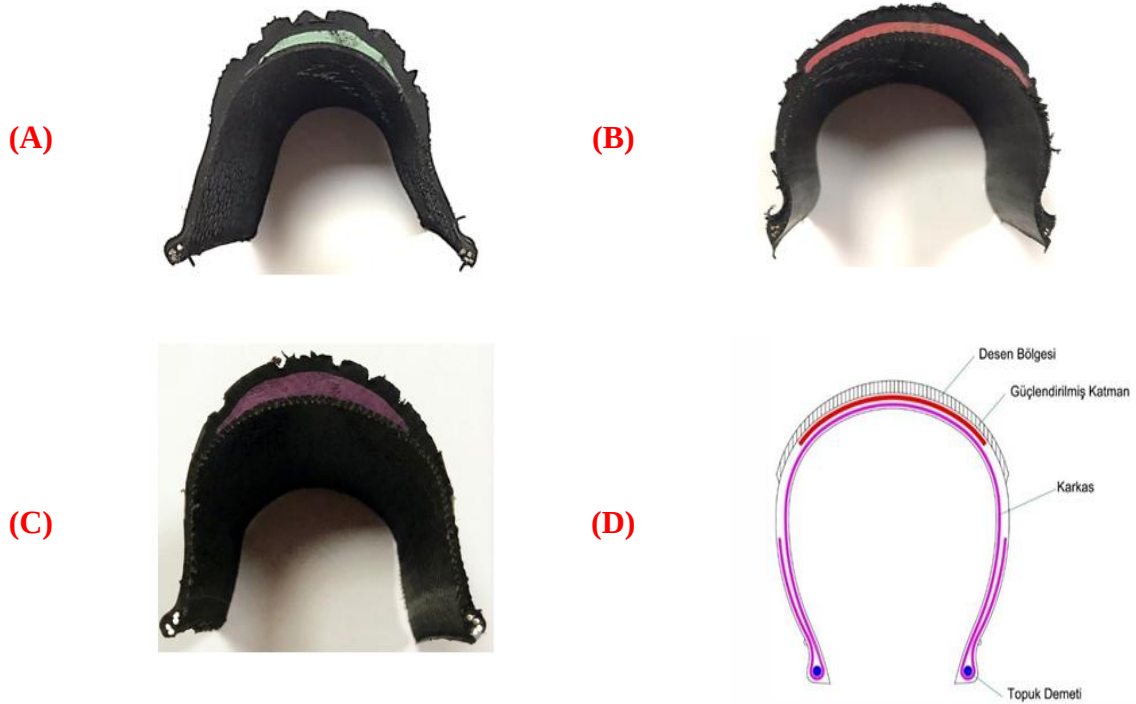
Rakip Ürün Analizi (Benchmarking): Piyasada performans lideri olarak bilinen rakip ürünlerin (A, B ve C) mekanik (çekme, yırtılma, sertlik), kimyasal ve yapısal (kesit analizi, kord sıklığı) özelliklerinin belirlenmesidir [8].

Formülasyon ve Proses Tasarımı: Elde edilen referans veriler ve firma Know-How bilgisi ışığında, özellikle güçlendirilmiş katman ve sırt karışımı için farklı Doğal Kauçuk (NR) / Sentetik Kauçuk (SBR) oranlarına sahip reçetelerin tasarlanması ve reolojik özelliklerinin optimize edilmesidir [9].

Prototip Üretimi ve Validasyon: Optimize edilen karışımların laboratuvar ölçekli test numunelerine dönüştürülmesi ve uluslararası standartlara (TS 11187, ASTM D412 vb.) göre performans doğrulamalarının gerçekleştirilmesidir [10].

2.1. Rakip Ürünlerin Analizleri

Üretilmek istenen lastik için piyasada bulunan benzer lastiklerin (Görsel 6) test edilmesi ve performanslarının karşılaştırılması, proje sonunda geliştirilecek ürünle kıyaslamayı kolaylaştırması ve rakip ürünlerin güçlü/zayıf yönlerini tespit etme açısından kılavuz olmuştur. Bu durum geliştirilecek ürünün hem teknik olarak hem de kullanıcı beklentileri bakımından daha başarılı olmasını mümkün kılmaktadır [7].



Görsel 6. A, B, C Marka Rakip Bisiklet Lastiği Kesit Görselleri ve (D) Lastik Teknik Resmi.

Üç rakip 26x1,75 şehir/trek lastiği için planlanan laboratuvar testleri ve standartları Çizelge 6'da verilmiştir.

A, B ve C kodlu numuneler örneklem grubu olarak seçilerek, bu materyallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla kapsamlı iç mekân testleri ve malzeme analizlerine tabi tutulmuştur.

Çizelge 6. Rakip Ürün Bilgileri ve Yapılacak Analizler.

Rakip Lastik Bilgileri/Yapılacaklar Testler			Test Standardı	Numune A	Numune B	Numune C
Ebat				26x1,75	26x1,75	26x1,75
Yapılan testler	Indoor Testleri	Running Endurance (Yol Mukavemeti)	TS 11187	+	+	+
		Plunger (Delinme Enerjisi)	TS 11187	+	+	+
	Sertlik (Shore A)		ASTM D2240-15	+	+	+
	Yoğunluk		ASTM D297-15	+	+	+
	Kül Testi		ASTM D1416	+	+	+
Lastik Kesit analizleri				+	+	+

Söz konusu test protokolü; elastomerik bileşenlerin fiziksel, kimyasal ve yapısal özelliklerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek, malzemenin hizmet performansını belirleyen parametreleri entegre etmektedir. Bu kapsamda; sertlik ölçümleri ile malzemenin rijitliği ve uyum karakteristikleri oda sıcaklığında tekrarlanabilir verilerle ortaya konulurken, kimyasal kompozisyon analizleri (ekstraksiyon, kül tayini, karbon siyahı ve kükürt oranı vb.) formülasyonun referans standartlara uygunluğunu doğrulamaktadır. Ayrıca, düşük sıcaklık darbe dayanımı testleri ile malzemenin güvenli çalışma limitleri ve kırılma eşiği tespit edilmektedir.

2.1.1. Yol Mukavemeti Testi (Running Endurance)

TS 11187, bisiklet dış lastiklerinin performans ve güvenlik özelliklerini değerlendirmek için uygulanan bir testtir. Test standardına göre, bisiklet lastiklerinin yol mukavemeti test cihazında (Görsel 2) 40 km/h hız ile 85 kg yük altında 7200 dk (5000 km) özür vermeden koşması gerekmektedir.

Tüm rakip lastiklere yol mukavemeti testi uygulanmış, test sonuçları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7. Running Endurance (Yol Mukavemeti) Test Sonuçları.

		Numune A	Numune B	Numune C
Yol Mukavemeti Testi	Hız (km/h)	40	40	40
	Süre (dk)	7500	7500	7500
	Mesafe (km)	5000	5000	5000
	Sonuç	Geçti	Geçti	Geçti

Tasarlanan tüm bisiklet lastiklerinin bu standarda uygun şekilde üretilmesi gerekmektedir.



Görsel 7. Running Endurance (Dış Lastiğin Yol Mukavemeti Tayini, Koşma Testi) Testi.

2.1.2 Plunger (Delinme Enerjisi) Testi

TS 11187 standardının delinme enerjisi testine (Görsel 8) göre cihazda bulunana piston ucu yarım küre şeklinde ve çapı $8 \pm 0,1$ mm olmalı ve piston $50 \pm 2,5$ mm/dk hızla hareket etmelidir ve lastiği 90° aralıklarla 3 ayrı noktadan uygulanır. Standarda göre bisiklet lastiklerinin 6,9 J değerini sağlaması gerekmektedir.



Görsel 8. Plunger Endurance (Lastik Delinme Enerjisi) Test Cihazı.

Plunger test sonuçlarını değerlendirdiğimizde; standarda göre delinme enerjisi minimum 6,9 joule olması istenirken 3 rakip numunesi de bu değerin üzerinde (Çizelge 8) değerler vermiştir.

Çizelge 8. Plunger (Delinme Enerjisi) Testleri.

	Numune A	Numune B	Numune C
Plunger (delinme enerjisi) (j)	13,07	10,14	10,00
Delinme (Var/Yok)	Yok	Var	Yok

Özellikle Numune A, 13 J değerini sağlarken diğer iki numune (Numune B ve Numune C) 10 J seviyelerinde kalmıştır. Bizim tasarlayacağımız lastiklerde hedeflediğimiz değer minimum 10 J ve üzeri olacaktır.

2.1.3. Güçlendirilmiş Karışım ve Sırt Karışımı (Kül, Yoğunluk, Sertlik) Testleri

Rakip Sırt Karışımı Analizi

Rakip lastiklerin güçlendirilmiş kısım (A: Yeşil, B: Kırmızı, C: Mor) ve sırt karışımına (Siyah); Kül, Yoğunluk ve Sertlik analizleri yapılmış ve Çizelge 9’te verilmiştir.

Çizelge 9. Rakip Sırt Karışımı Testleri (Kül, Yoğunluk, Sertlik).

		Numune A	Numune B	Numune C
Sırt Karışımı	Numune test kodu	25S033	25S031	25S035
	Karışım Renk	Siyah	Siyah	Siyah
	Kül (%)	22,2	18,92	20,7
	Yoğunluk (g/cm³)	1,102	1,132	1,268
	Sertlik (Shore A)	57-58	60-61	74-75

Rakip ürünlere uygulanan fiziksel testler sonucunda, her üç numunede de %18 ile %22 aralığında kül (inorganik kalıntı) tespit edilmiş olması, sırt karışımlarında karbon siyahının yanı sıra silika veya benzeri inorganik beyaz dolgu maddelerinin de kullanıldığını göstermektedir. Özellikle Numune A, %22,2 ile en yüksek kül oranına sahip olmasına rağmen 1,102 g/cm³ ile en düşük yoğunluğu sergilemiş, bu durum formülasyondaki dolgu türü ve yağ/polimer

dengesinin farklılığını ortaya koymuştur. Numuneler arasındaki en belirgin fark ise sertlik değerlerinde görülmüştür; Numune A (57-58 Shore A) ve Numune B (60-61 Shore A) sürüş konforu ve yer tutuş odaklı daha yumuşak bir yapı sergilerken, Numune C (74-75 Shore A) oldukça sert ve 1,268 g/cm³ ile yoğun bir profile sahiptir. Numune C’deki bu yüksek yoğunluk ve sertlik kombinasyonu, toplam dolgu yüklemesinin daha fazla olduğunu ve yuvarlanma direncini düşürme amacı taşıdığını işaret ederken, geliştirilecek yeni reçetede bu sertlik ve esneklik uçları arasında optimum bir denge hedeflenmesi gerektiğini göstermektedir.

2.1.4. Lastik Kesit Analizi

Lastiklerin iç yapısını ve dizaynını anlamak adına kesit alınarak kullanılan bileşenlerin kalınlıkları, topuk tipi, kord açısı ve ip sayısı parametreleri hakkında bilgi edinilmiştir. Çizelge 10’de Lastik kesit analizleri bulunmaktadır.

Çizelge 10. Rakip Lastik Kesit Analizi.

Rakip Lastik Kesit Analizleri				
Ebat	26x1.75 mm		26x1.75 mm	26x1.75 mm
Ölçüm Noktaları	Birimi	Numune A	Numune B	Numune C
Merkez Sirt Kalınlığı	Mm	5,5	4,5	6,5
Omuz Sirt Kalınlığı	Mm	4,6	3,7	5,1
Yanak En İnce Nokta Toplam Kalınlık	Mm	1,6	1,7	1,6
1.Kat Açısı	°	32	38	45
1.Kat Uç Sayısı	EPI (EPM)	66 (2600)	22 (870)	29 (1150)
Topuk Genişliği	Mm	3,7	3,7	3,5
Topuk Sıra x Sarım	Parça	2x2	2x2	2x2

Kord tipi için rakip numunelerin sıklık sayımında numunelerin 1 metredeki ip sayıları sırasıyla 2600, 870 ve 1150 olarak tespit edilmiştir. Diğer analizler ile lastiğin boyutsal olarak kalıp tasarımları ve kullanılacak malzemelerin miktarsal tasarımları gerçekleştirilecektir. Lastiklerden erken koptuğu için kord numunesi çıkartılamamıştır. Bu durum, kord iplerinin 235x1, 470x1, 940x1 ve 1100x1 gibi tek ip ve düşük mukavemetli kord bezi olduklarını göstermektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Rakip lastiklerine yapılan testlerin sonucunda lastiklerin tamamı delinme testindeki standart olan 6,9 J değerini karşılamaktadır. Bir lastikte bunu sağlamak için delinme enerjisi yüksek karışım ve kullanılan kord bezinin sıklığı ile sağlanabilmektedir. Plunger testi sırasında Numune A ve Numune C numunelerinin delinmeyip Numune B numunesinin delinmesi sıklık değerinin 870 EPM ile en düşük olmasından ve güçlendirilmiş katmanda kauçuk oranının az kullanılmasından kaynaklandığını gösteren parametreler olmuştur. Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak karışım ve malzeme özelliklerinin aşağıdaki şekilde tasarlanması düşünülmüş ve

gerçekleştirilmiştir. Kord bezi olarak bisikletlerde genellikle 940x1 cinsi kullanılmakta olup 870 ila 2600 EPM sıklığa kadar bezlerden seçilebilecektir.

Sırt reçetesi tasarımı, rakip analizlerinden yola çıkılarak özellikle beyaz dolgu %20, karbon siyahı da %6, kauçuk, uçucu ve diğer maddeler de %74 seviyelerinde olacak şekilde hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 11’de verilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere doğal kauçuğun arttırıldığı reçetelerde kopma mukavemeti ve yırtılma direncinde artışlar görülmüştür. Böylece bisiklet lastiğindeki özellikleri karşılayacak ve delinme enerjisini arttıracak reçeteler tasarlanmıştır.

Çizelge 11. Sırt Reçetesi Denemeleri ve Sonuçları.

Hammadde miktar (Phr)		Deneme 1	Deneme 2	Deneme 3	Deneme 4
Doğal Kauçuk (%)		50,00	60,00	70,00	80,00
TEST SICAKLIĞI (°C)		170	170	170	170
TEST SÜRESİ (dk.)		10:00	10:00	10:00	10:00
ML (dN-m)	ASTM D5289	1,05	1,10	1,15	1,05
MH (dN-m)	ASTM D5289	9,80	10,20	11,50	9,80
ts2 (mm:ss)	ASTM D5289	1:35	1:35	01:30	1:25
t90 (mm:ss)	ASTM D5289	3:15	3:12	03:05	3:02
TEST SICAKLIĞI (°C)		170	170	170	170
TEST SÜRESİ (dk.)		5	5	5	5
KOPMA (kg)	ASTM D412	130,00	155,00	170,00	195,00
UZAMA (%)	ASTM D412	450,00	460,00	450,00	450,00
MOD.300 (kg)	ASTM D412	45,30	47,70	48,50	49,80
SERTLİK (Shore A)	ASTM D2240	57,30	58,50	59,20	60,40
Yırtılma Kuvveti (kg)	ASTM D426	7,00	8,30	9,50	11,30
ML 1+4	ASTM D1646	30,50	32,20	35,44	37,60
t5	ASTM D1646	13:00	12:36	12:05	11:20

Deneme sonuçları doğrultusunda artırılan doğal kauçuk oranı ile sertlik, MH ve yırtılma/kopma değerlerinde hedeflenen iyileşmeler sağlanmış (Çizelge 116); uzama ve işlenebilirlik özellikleri ise kabul edilebilir düzeyde tutulmuştur. Sırt karışımı için t90 ve ts2 süreleri 170 °C/10 dk kür koşullarında stabil gerçekleşirken, ML/t5 düşüşü proses sıcaklığı ve bekleme sürelerinin kontrol edilmesi gerekliliğine işaret etmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, elektrikli bisiklet lastiklerinde artan yük, tork ve delinme tehlikesi gibi kritik kullanım şartları göz önüne alınarak, tersine mühendislik yöntemiyle güçlendirilmiş yeni bir dış lastik yapısı geliştirilmiştir. Piyasada yaygın olarak bulunan A, B ve C markalarına ait ürünler kapsamlı mekanik ve fiziksel incelemelere tabi tutulmuş; elde edilen veriler doğrultusunda optimum malzeme formülasyonları ve yapı tasarım kriterleri belirlenmiştir.

İthal ürün analizleri sonucunda, delinme enerjisi performansının yalnızca sırt karışımından değil; aynı zamanda güçlendirilmiş katman bileşimi ve kord bezi sıklığı (EPI) ile doğrudan ilişkili olduğu anlaşılmıştır. Düşük EPI değerine sahip ve yetersiz kauçuk içeren örneklerde

delinme riskinin arttığı tespit edilmiştir. Bu çerçevede geliştirilen formülasyonlarda (özellikle Deneme 4 reçetesinde) doğal kauçuk miktarının artırılmasıyla, kopma mukavemeti ve yırtılma direncinde belirgin iyileşmeler sağlanmış; aynı zamanda işlenebilirlik ve sertlik değerleri seri üretime uygun seviyelerde tutulmuştur.

Geliştirilen nihai formülasyonların sertlik ve yoğunluk gibi fiziksel özellikleri rakip ürünlerle benzer seviyelerde olup, elde edilen yüksek kopma ve yırtılma değerleri (sırasıyla 170 kg ve 9,5 kg) ürünün zorlu yol koşullarında rekabetçi bir performans sergileyeceğini öngörmektedir. Gelecek çalışmalar için, uzun süreli saha testleri ile farklı çevresel koşullardaki performans analizleri yapılarak ürünün ömrü ve sürüş konforu üzerindeki etkilerinin detaylandırılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜRLER: Bu bilimsel çalışma, Düzce Üniversitesi ile Anlaş Şirketi Araştırma ve Geliştirme Merkezleri arasındaki iş birliği sonucunda gerçekleştirilmiştir. Çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen “Güçlendirilmiş Yeni Nesil Elektrikli Bisiklet Lastiği Geliştirilmesi” başlıklı proje (Proje ID: 5240109) kapsamında yürütülmüştür.

KAYNAKÇA

- [1] R. G. Dhamak and A. K. Mishra. A Review on Design Developments in Bicycle, International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology (IARJSET), vol. 3, no. Special Issue 1, pp. 136–140, 2016, [doi:10.17148/IARJSET/ICAME.26](https://doi.org/10.17148/IARJSET/ICAME.26).
- [2] M. Stoffers. Bicycle history as transport history: the cultural turn, [Online]. Available: <http://www.fasos-research.nl/sts/cyclinghistory/> (accessed Jan. 09, 2026).
- [3] N. B. Hung, S. Jaewon, and O. Lim. A study of the effects of input parameters on the dynamics and required power of an electric bicycle, Applied Energy, vol. 204, pp. 1347–1362, Oct. 2017, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.025>.
- [4] World Intellectual Property Organization. Wear-resistant electric bicycle outer tire, Patent CN 209869961 A. [Online]. Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN280404746> (accessed Jan. 09, 2026).
- [5] World Intellectual Property Organization. Anti-sideslip electric bicycle tire, Patent CN 111716965 A. [Online]. Available: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=CN308315766> (accessed Jan. 20, 2026).
- [6] M. S. Masraff, N. Othman, and R. K. Shuib. Self-Healing Rubber Laminates for Puncture-Proof Tubeless Tyre Construction, Journal of Applied Polymer Science, vol. 142, no. 46, p. e57806, Dec. 2025, <https://doi.org/10.1002/app.57806>.
- [7] M. N. Shenvi, C. Sandu, C. Untaroiu, and E. Pierce. Correlating tire traction performance on snow with measured parameters of ASTM F1805 using regression analysis, Cold Regions Science and Technology, vol. 213, p. 103926, Sep. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2023.103926>.

- [8] E. Demir, G. Altundal, H. Gerengi, C. Yüksel. Investigation of the Potential of Using Liquid Rubbers in Rubber Industry, Journal of Materials Science and Chemical Engineering, 11(2023)21-30. <https://doi.org/10.4236/msce.2023.119002>.
- [9] G. Altundal, H. Gerengi, K. Savcı, E. Demir, C. Yüksel and D. Çağıl. Evaluation of Nylon 6 and Nylon 66 Cord Fabrics for Scooter Tyre Production under Different Curing Conditions, Materials Sciences and Applications, 15(2024)464-474. <https://doi.org/10.4236/msa.2024.1510031>.
- [10] E. Cetin, H. Gerengi, and G. Altundal. Development of puncture-resistant high-performance bicycle tire, in Proc. Int. Congress of Academic Research (ICAR), Bolu, Türkiye, Sep. 16–18, 2019, pp. 430–440.

RESTORING SECOND-ORDER ACCURACY TO THE FILTERED LEAPFROG SCHEME VIA A TEMPORAL PRE-FILTERING FRAMEWORK

Assist. Prof. Ahmet GÜZEL

Batman University, ahmet.guzel@batman.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-6514-9805

ABSTRACT

The leapfrog method is a three-step numerical scheme that, when applied to linear differential equations, splits the solution into two distinct motion modes: the physical mode representing the objective solution and the spurious calculation mode arising from the extended phase space of the decomposition. While the computational mode remains neutrally stable in linear regimes, the addition of nonlinear terms can create a connection between these modes, leading to an amplification of numerical noise that can have catastrophic consequences. In long-term atmospheric and climate simulations, the dominance of the computational mode ultimately compromises the integrity of the solution.

The standard strategy used to reduce this instability in geophysical fluid dynamics is the subsequent application of the Robert–Asselin (RA) filter. Although the RA filter successfully suppresses high-frequency computational noise, it also eliminates the physical mode, reducing the scheme's formal temporal accuracy from second-order to first-order. This first-order truncation error causes non-physical decreases in conserved quantities such as total energy and potential entropic.

In this study, we propose a pre-filtering framework designed to isolate and dampen the computational mode while preserving the formal second-order accuracy of the leapfrog scheme. Through linear analysis, we will demonstrate that this “pre-filter” realigns the numerical trajectory with the physical solution and effectively separates mode damping from physical dissipation. This approach offers a robust alternative for long-term integrations where high-order accuracy and conservation laws are critically important.

Anahtar Kelimeler : Time Filter, Leapfrog, Time Step, Error Analysis

**ENERGY CONSUMPTION ESTIMATION OF ELECTRIC VEHICLE CHARGING
SESSION DATA USING MACHINE LEARNING METHODS FOR SUSTAINABLE
ENERGY MANAGEMENT**

Master's Student, Zeynep ÖZER

Bandırma Onyedi Eylül University, zeynepozerr1675@gmail.com - 0009-0001-9383-229X

Assistant Professor, Alican DOĞAN

Bandırma Onyedi Eylül University, alicandogan@bandirma.edu.tr - 0000-0002-0553-2888

ABSTRACT

This study aims to contribute to sustainable energy management by using SHapley Additive ExPlanations (SHAP), a feature importance analysis method, to predict with maximum accuracy how much energy an electric vehicle consumes during charging and to transparently identify which variables quantitatively affect which other variables within the data. To this end, various machine learning models (Extra Trees Regressor, Random Forest Regressor, Gradient Boosting Regressor, Extreme Gradient Boosting) were created using 1,878 real data points obtained from a charging station in southwestern Switzerland, and different hyperparameters were tested using the Grid Search method to improve model performance. The model was evaluated using regression metrics such as R^2 , Mean Absolute Error (MAE), Mean Squared Error (MSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Upon examining the results, the XGBoost algorithm was selected as the best model, demonstrating an accuracy of 0.9610. According to this algorithm, it was observed that the electricity consumed by an electric vehicle in its charging state is most influenced by the charging duration (Stay), maximum charging power (Pmax), battery state of charge at arrival (SOC_arrival), and battery energy capacity (EnergyCapacity).

Keywords: Electric Vehicle, Sustainable Energy, Machine Learning, SHAP, Feature Extraction

INTRODUCTION

Globally, the goals of combating changing climate conditions and increasing energy demand have necessitated the development of sustainable approaches in the long term [1]. In recent years, with the widespread use of electric vehicles and the demand for vehicle charging infrastructure, studies on energy efficiency have attracted the attention of researchers, and research in the field of sustainable energy management has increased significantly [2]. The harmful effects of fossil fuel vehicles on the environment and the amount of energy they consume, coupled with the threat of depletion of sustainable resources and the increasing demand for electric vehicles, highlight the importance of examining the amount of energy consumed. With the rise of electric vehicles today, the amount of energy consumed has also increased significantly, posing a major risk in terms of sustainable energy management and the efficient use of energy resources. In particular, the uncontrolled use of stations that provide fast charging, such as Level 3, leads to energy waste. In this case, accurately predicting energy consumption during the charging period will be of great importance for sustainable energy management. In this context, studies in the existing literature have been deepened to include not only vehicle technologies but also the charging infrastructure and energy management of electric vehicles, and these studies in the field are shown in Table 1.

Table 1: Previous Studies on Electric Vehicle Energy Efficiency

AUTHOR	YEAR	METHOD	PURPOSE	RESULT
Parnian Alikhani et al. [3]	2025	Incremental learning ve ensemble modeller	Predicting electric vehicle charging session parameters	Improvement in model success R ² increase from 2.83 to 43.44
Fucai Ke & Hao Wang [4]	2024	Transformer-based self-attention model	Predicting future electric charging events	Accuracy %96.81
Muhammad Waqar et al. [5]	2026	Neural networks (CNNs), LSTM, BiLSTM/ BiGRU	Predicting electric vehicle energy demand	R ² ~ 0.99
Büşra Keskin at al. [6]	2022	Bagging-Random Forest approach	Electric vehicle battery charge state estimation	MAE 1.773
Durmuş Özkan Şahin at al. [7]	2025	Machine Learning and Deep Learning Methods	Electric vehicle charge status estimation	Accuracy %97.69

Elena Romano et al. [8]	2025	Machine Learning-Based Regression Models	Electric vehicle energy consumption forecast and estimation	$R^2 \sim 0.98$
Muhammed Oğuzhan Mete [9]	2025	Geographic information systems and Explainable artificial intelligence techniques - Machine Learning	Appropriate location selection for electric vehicle charging stations	R^2 Milano 0.27 R^2 Münih 0.87
Bukola Peter Adedeji [10]	2024	Supervised machine learning techniques	Energy parameter estimation in hybrid electric vehicles / fuel consumption	MSE 0.029

When examining the literature listed in Table 1, it is observed that researchers have primarily focused on machine learning methods, while also incorporating various deep learning techniques and neural networks. Researchers have been observed to heavily utilize artificial neural networks and ensemble approaches, as well as random forest and XGBoost algorithms, in electric vehicle datasets. The studies have largely been developed around modeling electrical charging events, selecting suitable locations for charging stations, estimating energy parameters, and predicting battery charge status. When examining the research findings, it is seen that various models were established within the study to compare R^2 values of performance metrics, and while some studies showed high accuracy, in others, performance was improved by making various improvements with success metrics. A review of the current literature reveals that recent studies have attempted to estimate energy consumption using electric vehicle data. However, these studies have mostly focused on scenarios involving the use of data that does not reflect real charging station conditions. Furthermore, the low usage rate of data from Level 3 fast-charging stations in the literature is noteworthy.

This study uses real data obtained from a Level 3 charging station located in southwestern Switzerland to prevent unnecessary energy consumption by electric vehicles and increase energy efficiency. The selected model's SHAP analysis results were evaluated to contribute to sustainable energy management.

The key variables used in the study are shown in Table 2.

Table 2: Variable Definitions

Variable Name	Variable Description
EV	Electric Vehicle
SHAP	SHapley Additive ExPlanations
ET	Extra Trees Regressor
GBR	Gradient Boosting Regressor
RF	Random Forest Regressor
XGBoost	Extreme Gradient Boosting
MAE	Mean Absolute Error
MSE	Mean Squared Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
R ²	Coefficient of Determination
CCS	Combined Charging System
CHAdEMO	CHArge de MOve
Tesla DC	Tesla Direct Current

The sections included in the remainder of the study are shown in Figure 1.

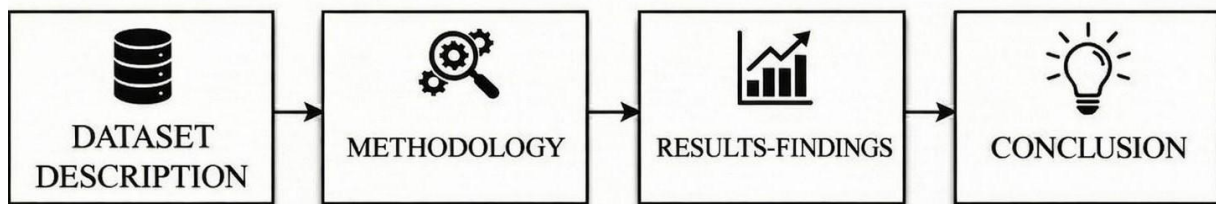


Figure 1. Paper Flow Chart

DATASET DESCRIPTION

The EV charging session data used in this study pertains to a Level 3 charging station located in southwestern Switzerland and covers the period from April 12, 2022, to July 4, 2023 [11]. The charging station in question has 6 charging ports, including 2 CCS, 1 CHAdEMO, 1 Type 2 socket, 1 Type 2 plug, and 1 Tesla DC. However, since users tended to use the CCS charging port more frequently at the station under review, the data only includes measurements taken

from this port. The data obtained from the CCS charging port was collected in separate sets as measurement data and session data; however, only the session data was used in this study. The data includes 1,878 electric vehicle charging sessions. The variables in the data set are shown in Table 3, and the descriptive statistics of the variables are shown in Table 4.

Table 3: Variables and Their Definitions

VARIABLE NAME	VARIABLE DEFINITION	UNIT
Session	ID number attributed to the charging session	-
CCS	Plug ID (CCS1 or CCS2)	-
Arrival	EV arrival time	Date Time
Departure	EV departure time	Date Time
Stay	EV stay duration	Minute (min)
Energy	Charged energy	Watt-Hour (Wh)
Pmax	Maximum AC charging power of the session	Watt (W)
Preq_max	Maximum AC charging power of the session	Watt (W)
Controlled session	Boolean identifying whether $P_{set} < P_{req}$ anytime during the charging session ¹	Binary (0/1)
TotalCapacity	Total energy capacity of the EV's battery	-
BulkCapacity	Usable energy capacity of the EV's battery	-
SOC arrival	State-of-charge of the EV's battery at arrival	Percentage (%)
SOC departure	State-of-charge of the EV's battery at departure	Percentage (%)
Energy capacity	Approximated capacity of the EV's battery	Watt-Hour (Wh)

¹ During the home charging period, this value indicates whether the power supplied by the charging device (P_{set}) remains below the power demanded by the vehicle (P_{req}).

Table 4: Statistical Summary of Variables

VARIABLE NAME	VARIABLE TYPE	MEAN	MIN	MAX	STD (Standard Deviation)
Stay	Minute (min)	32.9158	5.0000	144.0000	17.5803
Energy	Watt-Hour (Wh)	32184.2042	1165.0000	268863.0000	19407.3674
Pmax	Watt (W)	102494.7220	13986.0000	174846.0000	41905.3686
Preq_max	Watt (W)	209408.2348	24000.0000	367872.0000	100409.6518
TotalCapacit y	-	16161.7358	10000.0000	80640.0000	17267.1024
BulkCapacit y	-	12891.4723	1000.0000	64512.0000	13713.3265
SOC arrival	Percentage (%)	33.6743	0.0000	98.0000	19.4044
SOC departure	Percentage (%)	79.1404	12.0000	100.0000	18.4044
Energy capacity	Watt-Hour (Wh)	69682.3036	9748.0555	382028.3783	30210.3232

In the study, the amount of energy consumed during the charging cycle was selected as the target variable. The main reason for selecting this variable in line with the research objective is that an electric vehicle consuming more energy than necessary during charging leads to inefficient use of energy resources, posing a threat to sustainable energy management. Based on this negative situation, the study aims to contribute to the literature by establishing various machine learning models to predict energy consumption with high accuracy and reliability.

METHODOLOGY

The methodological process within the study encompasses all stages from problem definition to model development and evaluation. To enable a more comprehensive examination of this methodological framework, the steps are shown sequentially in Figure 2.

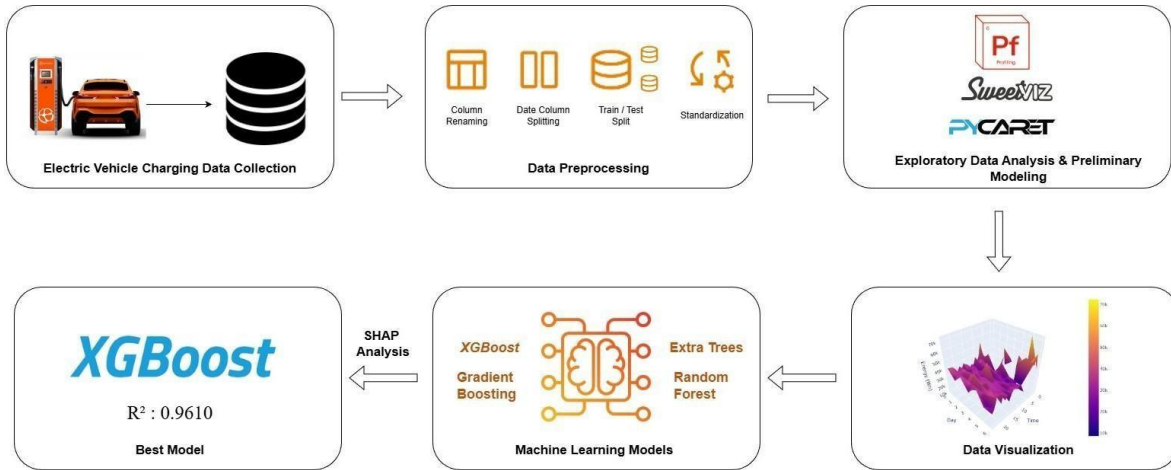


Figure 2. Methodological Work Flow

The fundamental problem addressed in this study is to comparatively examine the amount of electrical energy consumed by an electric vehicle during a charging session by applying a hyperparameter optimization method to multiple machine learning approaches, and to evaluate the model outputs using SHAP analysis. In this context, the ‘Energy’ target variable has been addressed within the framework of a regression problem aimed at predicting a continuous output variable.

The data used in this study belong to Level 3 station session data from Switzerland. These data consist of technical variables such as battery charge level, energy consumption, and charging time associated with the charging session, and these variables are detailed in Table 3. In the data preprocessing steps of the study, variable names were standardized, date columns were derived as year-month-day, and the data set was split into two separate parts, training and testing, to prepare it for machine learning models. The data was also standardized to increase the model performance level.

Exploratory data analysis steps were applied to better understand the structure of the data set. Here, with the help of YData Profiling, the statistical structure of the data, the relationships between variables, and missing values were first converted into a visual panel with a single command. YData Profiling is an open-source Python library that analyzes the dataset quickly and easily, providing the user with a visual panel report. Following this process, high-resolution interactive visual reports were created using Sweetviz, an open-source Python library. Sweetviz creates visually rich summary reports by making exploratory data analysis processes faster and more autonomous. Sweetviz, which can be used for both regression and classification problems, offers an analysis method that is easier to interpret for researchers with varying levels of technical expertise in understanding the structure of data prior to

machine learning. PyCaret was used in the final step of exploratory data analysis. PyCaret allows for the comparison of performance metrics of machine learning models very quickly and in a short period of time. PyCaret was used for the regression problem in the study, and in the subsequent stages, it was evaluated which algorithms could perform better when building machine learning models.

The four best regression algorithms obtained using the open-source Python library PyCaret were subjected to hyperparameter optimization methods, and the algorithms were evaluated comparatively using performance metrics (R^2 , MAE, MAPE, MSE). As a result, the XGBoost algorithm demonstrated high performance.

The XGBoost algorithm, a supervised machine learning model and ensemble method, adopts a learning method that aims to improve by correcting model errors. In this regard, the algorithm has been frequently preferred in the literature for energy prediction, and related studies are shown in Table 1.

XGBoost (Extreme Gradient Boosting) is a tree-based algorithm based on the principle of gradient boosting. The algorithm works by repeatedly training the model within its loop to improve the model's performance and reduce its margin of error, enabling the decision tree structure to learn from its mistakes. This approach allows the output of the new model to be adjusted to minimize the errors of the previous model. The working principle of the XGBoost algorithm is shown in Figure 3.

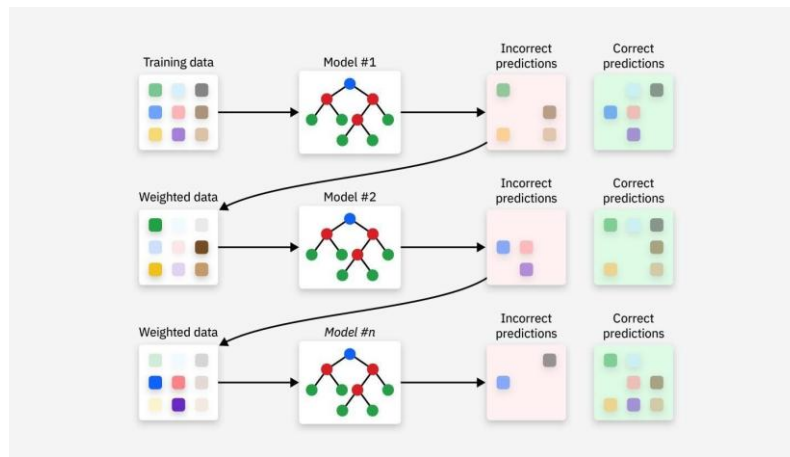


Figure 3. XGBoost Algorithm Working Principle

The prediction function of the XGBoost algorithm is shown in Equation 1.

$$\hat{y}_i = \sum_{k=1}^K f_k(x_i), f_k \in F$$

Equation 1. XGBoost Algorithm General Prediction Function

When examining the function in Equation 1, the variable x forms the input variable for the i -th observation, while f defines the k -th decision tree. Here, K represents the total number of decision trees, and F corresponds to the function space formed by the decision trees within the model. The general prediction function indicates that it is formed as a result of the integration of all decision tree outputs made by the XGBoost algorithm for each observation.

However, the model's learning does not consist solely of limiting prediction errors to a minimum level; here, the objective function is used to control the complex structure of the model. This function is shown in Equation 2.

$$L = \sum_i l(y_i, y_k) + \sum_k \Omega(f_k)$$

Equation 2. XGBoost Algorithm Objective Function

When examining the function in Equation 2, the y expressions within the parentheses define the loss function (such as MSE), which is the difference between the actual value and the value predicted by the model. At the same time, the $\Omega(f_k)$ expression is a regularization element used to prevent the model from overfitting. This regularization element is defined as in Equation 3 to test the complex structure of decision trees.

$$\Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \sum_j \omega_j^2$$

Equation 3. XGBoost Algorithm Regularization Function

When examining the function in Equation 3, the T value represents the number of leaves in a decision tree, while the ω_j value represents the weight degree of the leaf. The γ variable restricts a decision tree from branching out further, and the λ variable controls the magnitude of leaf weights, enabling the model to obtain generalizable and balanced predictions. Thus, thanks to its layered formulation structure, the XGBoost algorithm enables high prediction power by preventing overfitting in complex data.

Various hyperparameter optimization methods were tested to improve model performance, and the best model was selected and run on pre-separated training and test sets.

Following this evaluation, SHAP analysis was performed to explain the model outputs, and the key variables affecting the amount of energy consumed by an electric vehicle during a charging session were quantitatively examined.

RESULTS - FINDINGS

Four models—Extra Trees Regressor, Gradient Boosting Regressor, Random Forest Regressor, and Extreme Gradient Boosting—were developed for sustainable energy management to estimate the amount of energy consumed by electric vehicles during charging sessions. The time spent by these models in the background, along with their MAE, MAPE, MSE, and R2 values,

were calculated and compared. The training results of the established models are shown in Figure 4 and Table 5, while the test results are shown in Figure 5 and Table 6.

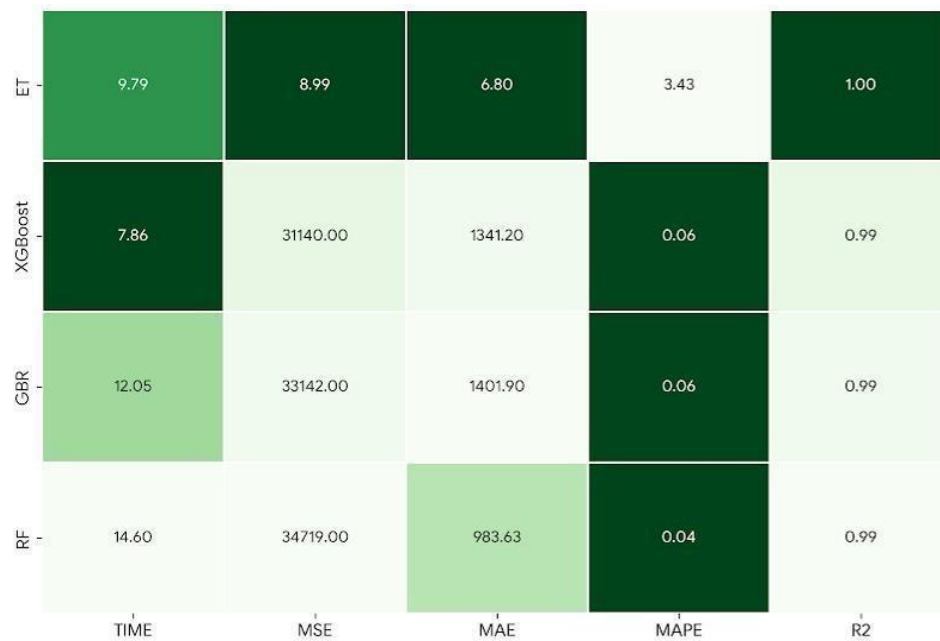


Figure 4. Training Set Results for Models Table 5: Training Set Values for

Models

MODELS	TIME (ms)	MSE	MAE	MAPE	R2
ET	9.7888	8.9889	6.7969	3.4303	1.0
XGBOOST	7.8570	31140	1341.2	0.0585	0.9918
GBR	12.055	33142	1401.9	0.0589	0.9913
RF	14.603	34719	983.63	0.0426	0.9909

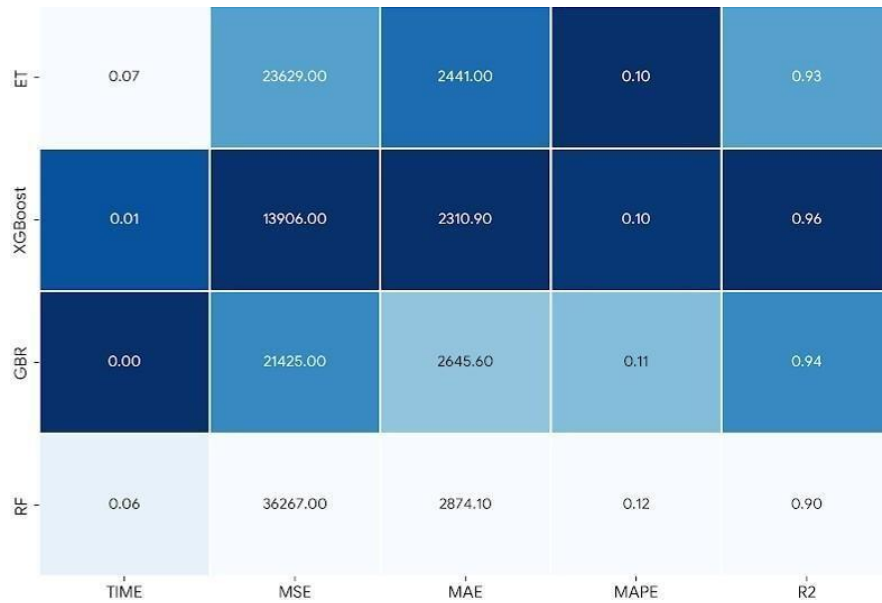


Figure 5. Test Set Results for the Models

Table 6: Test Set Values for Models

MODELS	TIME (ms)	MSE	MAE	MAPE	R2
ET	0.0682	23629	2441.0	0.1012	0.9337
XGBOOST	0.0120	13906	2310.9	0.1017	0.9610
GBR	0.0037	21425	2645.6	0.1112	0.9399
RF	0.0630	36267	2874.1	0.1190	0.8983

The study is divided into two sets: training and testing, with the training set comprising 70% of the data and the testing set comprising 30% of the data. When examining the model prediction results of the training data in Figure 4 and Table 5, the ET algorithm showed perfect prediction performance (1.00), followed by XGBOOST (0.9918), GBR (0.9913), and RF (0.9909) algorithms with the highest training predictions. When examining the model prediction results of the test data in Figure 5 and Table 6, it is seen that the XGBOOST algorithm has the highest prediction (0.9610) and lowest error rates (MSE - 13906 / MAE - 2310.9 / MAPE - 0.1017) compared to other models. This indicates that the XGBOOST algorithm's prediction performance on training and test data provides highly accurate prediction results in real-world data. It can also be noted that it reduces the risk of overfitting by achieving high consistency and stable results. Various hyperparameter optimization methods were used to improve the performance of the XGBOOST algorithm. These methods and their values are shown in Table 7, the best parameters were found to be n_estimators 200, learning_rate 0.1, max_depth 3, subsample 0.8, and colsample_bytree 1.0.

Table 7: Hyperparameter Optimization Values

NAME OF THE HYPERPARAMETER OPTIMIZATION METHOD	VALUES
n_estimators	100, 200
learning_rate	0.05, 0.1
max_depth	3, 5
subsample	0.8, 1.0
colsample_bytree	0.8, 1.0

After applying hyperparameter optimization methods to improve model performance, the SHAP (SHapley Additive exPlanations) game theory method was used to make the models more explainable. SHAP aims to make models with a ‘black box’ structure more transparent by calculating the direction and extent of the deviation of the predicted value obtained from the model results from the model's main output [12]. The SHAP analysis result of the study is shown in Figure 6. When examining the summary output in Figure 6, it is clear that charging time (STAY), maximum charging power (PMAX), battery state of charge at arrival (SOC_ARRIVAL), and battery energy capacity (ENERGYCAPACITY) are effective in predicting EV energy consumption. According to the SHAP analysis result, charging duration in particular positively affects the model in situations where it shows high consumption, indicating that longer charging sessions may result in higher energy consumption. Similarly, it is shown that a high maximum charging power will also increase EV energy consumption, starting with a lower battery charge level at arrival may cause higher EV energy consumption, and battery energy capacity significantly affects EV energy consumption.

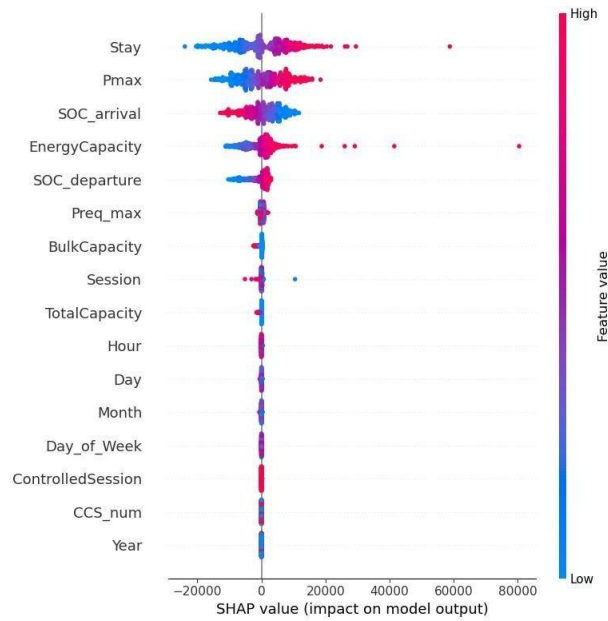


Figure 6. SHAP Analysis Result

When examining the 3D graph in Figure 7, it is observed that energy consumption at EV charging stations exhibits non-periodic fluctuations on certain days and at certain times. Accordingly, increases in energy consumption at EV charging stations are seen at distinct peak points on certain days and during certain time periods, which can be explained primarily by users' high demand for vehicle charging and high charging power consumption. At this point, it is evident that the energy consumption of an electric vehicle is not distributed homogeneously during a session and that clusters occur at certain times, causing an additional load increase on the system.

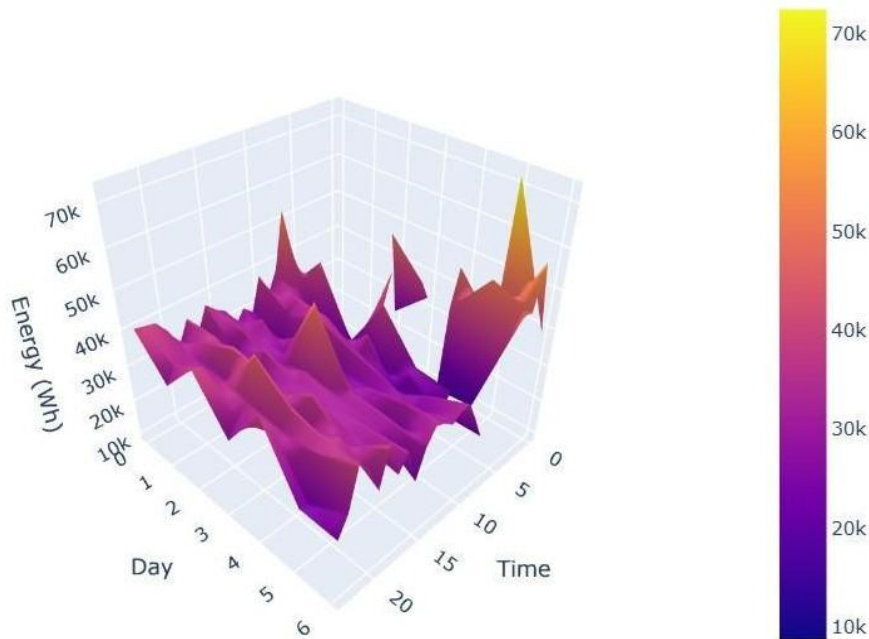


Figure 7. 3D Graph Showing Daily Energy Consumption

CONCLUSION

The main objective of the study is to develop a data-driven approach that bridges sustainability with electric vehicles by optimizing sustainable energy management and intelligent transportation systems. This is achieved by predicting, with maximum accuracy, how much energy an electric vehicle consumes during charging, thereby enabling efficient capacity planning for charging infrastructure and balancing sudden load increases. In this regard, real charging session data was used in the study, and various machine learning methods were applied. Hyperparameter optimization methods were applied to increase the maximum prediction accuracy of these methods. Among the developed models, the XGBoost algorithm provided the best prediction performance, and its SHAP analyses provided a more transparent and interpretable approach to the existing literature. In future studies, adding behavioral data on electric vehicle users' charging habits to the model will enable the modeling of users' dynamic demand distribution patterns.

REFERENCES

- [1] Hasselwander, S., Galich, A., & Nieland, S. (2022). Impact of climate change on the energy consumption of passenger car vehicles. *World Electric Vehicle Journal*, 13(8), 146.
- [2] Tarout, H., Zaki, H., Chahbouni, A., Ennajih, E., & Louragli, E. M. (2025). Optimizing Energy Consumption in Electric Vehicles: A Systematic and Bibliometric Review of Recent Advances. *World Electric Vehicle Journal*, 16(10), 577.
- [3] Alikhani, P., Brinkel, N., Schram, W., Lampropoulos, I., & van Sark, W. (2025). A comprehensive incremental and ensemble learning approach for forecasting individual electric vehicle charging parameters. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 173, 111438.
- [4] Ke, F., & Wang, H. (2024, July). Divide-conquer transformer learning for predicting electric vehicle charging events using smart meter data. In *2024 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)* (pp. 1-5). IEEE.
- [5] Waqar, M., Kim, Y. W., & Byun, Y. C. (2026). A hybrid deep learning framework for multivariate energy forecasting and peak load prediction in electric vehicle charging infrastructure. *Applied Energy*, 402, 126964.
- [6] Keskin, B., Günel, E. Ş., Urazel, B., & Keskin, K. (2022). Elektrikli araç bataryalarının şarj durumu tahmini için bir model. *Nitel Bilimler Dergisi*, 4(2), 161-175.
- [7] Şahin, D. Ö., Çandırılı, M., Erşen, A., & Akar, M. H. ELEKTRİKLİ ARABA VERİ KÜMESİ ÜZERİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ VE DERİN ÖĞRENME ALGORİTMALARI KULLANARAK ŞARJ DURUMU TAHMİNİ. *Mühendis ve Makina*, 66(719), 361-387.
- [8] Romano, E., Petersen, M., & Madsen, I. (2025). MACHINE LEARNING-BASED ENERGY CONSUMPTION PREDICTION AND OPTIMIZATION FOR ELECTRIC VEHICLES.
- [9] Mete, M. O. (2025). CBS ve makine öğrenmesi ile elektrikli araç şarj istasyonlarının yer seçimine etki eden kriterlerin belirlenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(4).
- [10] Adedeji, B. P. (2024). Energy parameter modeling in plug-in hybrid electric vehicles using supervised machine learning approaches. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 8, 100584.

- [11] <https://github.com/DESL-EPFL/Level-3-EV-charging-dataset/tree/main>
(Erişim Tarihi: 10.12.2025)
- [12] Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30.

THEORETICAL INVESTIGATION OF RADIATION SHIELDING PROPERTIES OF LINAGLIPTIN

Asst. Prof. Halime ERZEN YILDIZ¹

¹Department of Medical Services and Techniques, Vocational School of Health Care, Yuzuncu Yıl University, Van, Turkey, halimeyildiz@yyu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0603-1815>

Dr. Lecturer Hamza TUNÇ²

²Department of Medical Services and Techniques, Muradiye Vocational School, Yuzuncu Yıl University, Van, Turkey, hamzatunc@yyu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2787-8126>

Prof. Dr. Berna OTO³

³Department of Marine Engineering, Faculty of Maritime, Van Yuzuncu Yıl University, Van, Turkey, bpekgoz@yyu.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4565-1790>

ÖZET

In this study, the radiation interaction and shielding parameters of the antidiabetic drug linagliptin were theoretically investigated over a wide photon energy range to evaluate its potential behavior under ionizing radiation exposure. The mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), and effective electron density (N_{el}) were calculated using reliable computational methods in order to analyze the energy-dependent radiation attenuation characteristics of the compound. These fundamental parameters are widely used to describe the interaction mechanisms between photons and matter and to assess the shielding effectiveness of various materials. The obtained results indicated that linagliptin exhibits relatively high attenuation capability at low photon energies, where the photoelectric absorption process is dominant. In this region, the values of μ_m , Z_{eff} , and N_{el} reach their maximum levels due to the strong dependence of photon interaction on atomic number and chemical composition. As the photon energy increases toward intermediate levels, a gradual decrease in attenuation performance was observed, corresponding to the transition from photoelectric absorption to Compton scattering as the prevailing interaction mechanism. At higher energies, the contribution of pair production becomes more significant, leading to further variations in the calculated parameters.

The observed trends in μ/ρ , Z_{eff} , and N_{el} were found to be directly related to the molecular structure and elemental composition of linagliptin. The calculated results also showed good agreement with previously reported data for similar pharmaceutical and organic compounds, confirming the validity of the theoretical approach employed in this work. This study provides

novel and valuable reference data on the radiation–drug interaction properties of linagliptin and contributes to the limited literature on the radiation shielding behavior of antidiabetic medications. The findings may be useful for future research in medical physics, radiopharmacy, and radiation safety applications.

Keywords: Linagliptin, radiation, shielding

1. INTRODUCTION

Ionizing radiation is widely used in medical imaging and radiotherapy, as well as in industrial and nuclear applications. The interaction of ionizing radiation with matter involves absorption and scattering processes that depend on photon energy, atomic number, and material composition. Therefore, the determination of radiation interaction parameters such as the mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), effective electron density (N_{el}) is of great importance for accurate dose calculations, radiation protection, and optimization of therapeutic applications (Salehi et al., 2015; Oto et al., 2020). In the literature, the radiation interaction and radioprotective properties of various chemical and biological agents, including antioxidant compounds, anticancer drugs, and biologically active molecules, have been extensively investigated (Alshammari et al., 2017; Aygün et al., 2020; Bayram et al., 2023; Hiremath et al., 2024). Such studies contribute to dose optimization in radiotherapy, improve patient safety, and support the development of novel radioprotective materials.

Linagliptin is a xanthine-based, potent dipeptidyl peptidase-4 (DPP-4) inhibitor that is widely used in the treatment of type 2 diabetes mellitus (T2DM). It differs from other DPP-4 inhibitors due to its strong and sustained DPP-4 binding, long duration of action, and predominantly non-renal elimination, with most of the drug excreted unchanged via the feces (Scott, 2011; Sortino et al., 2013). The chemical composition of linagliptin ($C_{25}H_{28}N_8O_2$) includes elements with varying atomic numbers, which may influence its interaction with ionizing radiation.

Due to its chronic use and systemic distribution, patients receiving linagliptin may be exposed to ionizing radiation during diagnostic imaging or radiotherapy procedures. However, despite its widespread clinical use, the radiation interaction and shielding characteristics of linagliptin have not been adequately investigated. To the best of our knowledge, no comprehensive study has evaluated the mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), effective electron density (N_{el}) of linagliptin over a wide photon energy range.

Therefore, the aim of the present study is to determine the radiation shielding parameters of linagliptin using theoretical calculation methods and to contribute to the limited literature on radiation–drug interactions with potential implications for medical radiation applications.

2. MATERIAL AND METHODS

Investigated drug were analyzed in terms of theoretical photon interaction parameters, specifically the mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), and electron density (N_{el}), within an energy range of 1 keV to 100 GeV. These parameters were obtained

using the EpiXS software package. The EpiXS program enables the computation of photon interaction characteristics such as μ_m , Z_{eff} , and N_{el} for elements, organic compounds, and composite materials across a broad energy spectrum, providing reliable results for various types of materials (Hila et al., 2020; Hila et al., 2021).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The radiation interaction behavior of linagliptin was evaluated through the energy-dependent variations of the mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), and effective electron density (N_{el}), as presented in Figure 1, Figure 2, and Figure 3, respectively. The obtained results clearly demonstrate that the interaction of linagliptin with ionizing radiation is strongly energy dependent and governed by different dominant photon interaction mechanisms across the investigated energy range.

As shown in Figure 1, the mass attenuation coefficient (μ_m) exhibits very high values in the low-energy region (≈ 1 – 10 keV). This behavior is attributed to the dominance of the photoelectric effect, which is highly dependent on atomic number. Consistently, Figure 2 and Figure 3 show that Z_{eff} and N_{el} values are also high and relatively constant in this energy range. The simultaneous increase in μ_m , Z_{eff} , and N_{el} confirms the strong contribution of atomic structure to photon absorption at low energies and indicates that linagliptin exhibits a higher attenuation capability against low-energy photons.

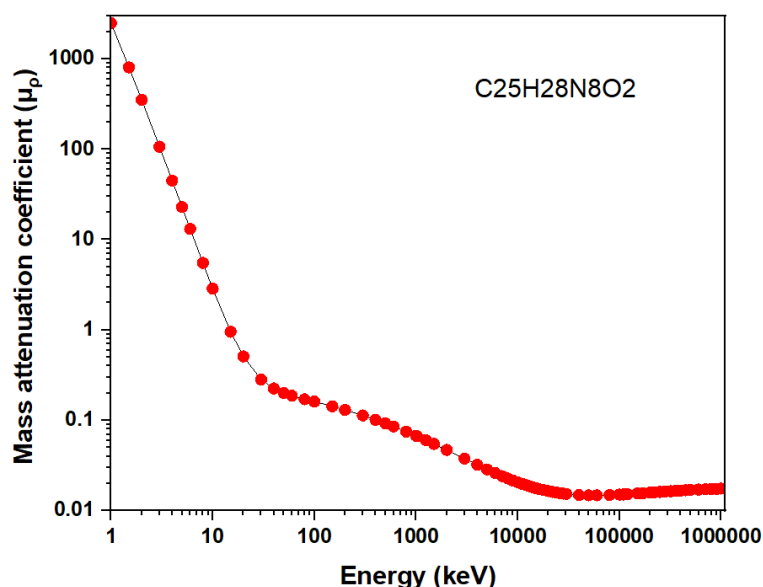


Figure 1. Energy Dependence of Mass Attenuation Coefficient (μ_m) for C₂₅H₂₈N₈O₂

With increasing photon energy (≈ 10 – 100 keV), Figure 1 reveals a sharp decrease in μ/p values, accompanied by pronounced reductions in Z_{eff} (Figure 2) and N_{el} (Figure 3). This energy region corresponds to the transition from photoelectric dominance to Compton scattering as the prevailing interaction mechanism. Since Compton scattering depends primarily on electron

density rather than atomic number, the observed decrease and subsequent stabilization of Z_{eff} and N_{el} are physically expected.

In the intermediate energy range (≈ 100 keV–1 MeV), μ/ρ values in Figure 1 decrease more gradually, while Z_{eff} and N_{el} in Figure 2 and Figure 3 remain nearly constant. This behavior is characteristic of the Compton scattering–dominated region and is commonly reported for organic and pharmaceutical compounds. The results indicate that linagliptin exhibits limited radiation shielding effectiveness in this energy range.

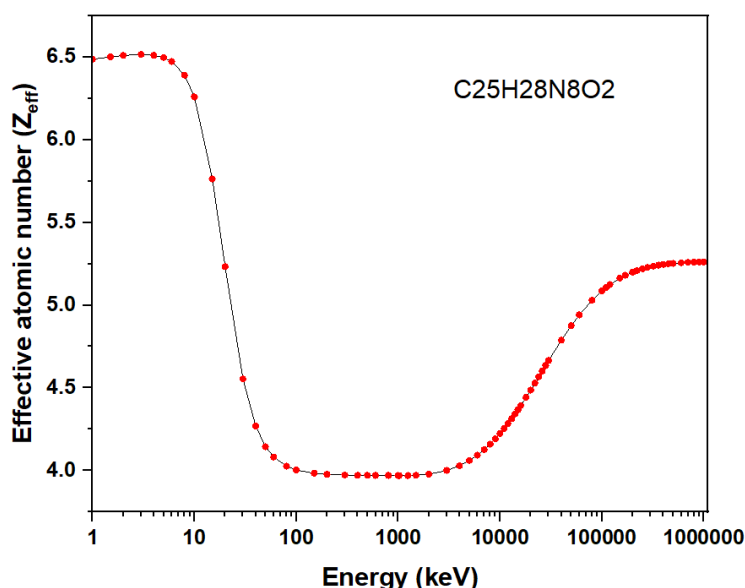


Figure 2. Energy Dependence of Effective Atomic Number (Z_{eff}) for $\text{C}_{25}\text{H}_{28}\text{N}_8\text{O}_2$

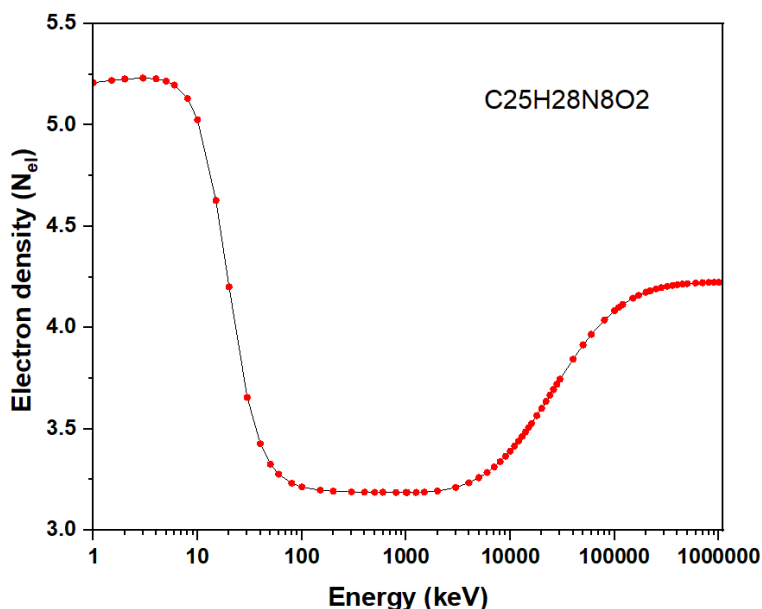


Figure 3. Energy Dependence of Electron Density (N_{el}) for $\text{C}_{25}\text{H}_{28}\text{N}_8\text{O}_2$

At higher photon energies (≥ 1 MeV), Figure 2 and Figure 3 display a gradual increase in Z_{eff} and N_{el} , whereas μ_{m} values in Figure 1 approach minimum levels. This trend is associated with

the increasing contribution of pair production at high energies. However, due to the chemical composition of linagliptin ($C_{25}H_{28}N_8O_2$), which consists of low- to medium-atomic-number elements, the contribution of pair production remains limited and does not result in a significant enhancement of attenuation capability.

Overall, the combined evaluation of Figure 1, Figure 2, and Figure 3 demonstrates that linagliptin has a higher radiation attenuation capacity at low photon energies, while its shielding effectiveness is relatively limited at intermediate and high energies. The consistent trends observed among μ_m , Z_{eff} , and N_{el} confirm the internal coherence of the results and are in good agreement with the radiation interaction behavior reported for similar pharmaceutical compounds in the literature.

4. CONCLUSION

This study evaluated the radiation shielding parameters of linagliptin by analyzing the mass attenuation coefficient (μ_m), effective atomic number (Z_{eff}), and effective electron density (N_{el}) over a wide photon energy range. The results showed that linagliptin exhibits higher attenuation capability at low photon energies due to the dominance of the photoelectric effect, while its shielding effectiveness decreases at intermediate and high energies where Compton scattering and pair production become significant. Overall, the energy-dependent trends of μ_m , Z_{eff} , and N_{el} were consistent and in agreement with the chemical composition of linagliptin, contributing novel data to the limited literature on radiation–drug interactions.

REFERENCES

- Alshammari, F. M., Reda, S. M., Ghannam, M. M. Potential effects of gamma irradiation on the stability and therapeutic activity of anticancer drug, doxorubicin. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 10(2), 103-109, 2017.
- Aygün, B., Karabulut, A. The interaction of neutron and gamma radiation with some cancer drug effect ingredients. *Eastern Anatolian Journal of Science*, 6(2), 35-43, 2020.
- Bayram, S., Aygün, B., Karadayi, M., Alaylar, B., Güllüce, M., Karabulut, A. Determination of toxicity and radioprotective properties of bacterial and fungal eumelanin pigments. *International Journal of Radiation Biology*, 99(11), 1785-1793, 2023.
- Hila, F. C., Amorsolo Jr, A. V., Javier-Hila, A. M. V., Guillermo, N. R. D. A simple spreadsheet program for calculating mass attenuation coefficients and shielding parameters based on EPICS2017 and EPDL97 photoatomic libraries. *Radiation Physics and Chemistry*, 177, 109122, 2020.
- Hila, F. C., Asuncion-Astronomo, A., Dingle, C. A. M., Jecong, J. F. M., Javier-Hila, A. M. V., Gili, M. B. Z., Amorsolo Jr, A. V. EpiXS: A Windows-based program for photon attenuation, dosimetry and shielding based on EPICS2017 (ENDF/B-VIII) and EPDL97 (ENDF/B-VI.8). *Radiation Physics and Chemistry*, 182, 109331, 2021.
- Hiremath, G. B., Muddapur, G. V., Srinivasa, H. T., Ayachit, N. H., Badiger, N. M. Investigation of gamma and neutron interaction parameters of synthesized diketone derivatives as potential anti-cancer. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 333(11), 5425-5434, 2024.
- Oto, B., Oto, G., Madak, Z., Kavaz, E. The interaction of gamma radiation with drugs used in cholinergic medications. *International Journal of Radiation Biology*, 96(2), 236-244, 2020.
- Salehi, D., Sardari, D., Jozani, M. S. Investigation of some radiation shielding parameters in soft tissue. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 8(3), 439-445, 2015.
- Scott, L. J. Linagliptin: in type 2 diabetes mellitus. *Drugs*, 71(5), 611-624, 2011.
- Sortino, M. A., Sinagra, T., Canonico, P. L. Linagliptin: a thorough characterization beyond its clinical efficacy. *Frontiers in Endocrinology*, 4, 16, 2013.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 landfiling 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

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

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

**FIELD AND PETROGRAPHIC CORRELATIONS OF CHARNOKITIC 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

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

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

**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

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

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

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

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

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

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

Nurul Afiah

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

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

**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

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

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

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

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

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

**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

**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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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, Kazakhstan

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

