

CONFERENCE BOOK



UZAKDOĞU 5. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



**FAREAST 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
NOV 7 - 9, 2025
BALI**

**ISBN: 978-625-5694-48-5
Academy Global Publishing House**





**FAR EAST ASIA 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
NOV 7 - 9, 2025
BALI**

Edited By
ASSOC. PROF. DR. Abbas Ghaffari

Issued: 30.11.2025
ISBN: 978-625-5694-48-5

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

**In the conference 47 papers have been presented by Turkish participants and 67 papers
by foreign participants.**

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

All rights of this book belong to Academy Global Publishing House

Without permission can't be duplicate or copied.

Authors of chapters are responsible both ethically and juridically.

Academy Global–2025©

CONFERENCE ID

FAR EAST ASIA 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE

NOV 7 - 9, 2025

BALI

ORGANIZATION

ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

EVALUATION PROCESS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

**Turkey – Yemen – Algeria- Pakistan – Philippines- Vietnam- Iran – Iraq- Romania- Italy-
Kazakhstan- Russia- India- France – Oman - Georgia- Morocco- Nigeria- Kosovo-
Germany- Eritrea – Serbia- Egypt-**

-

PRESENTATION

Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırınıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

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 - Uzbekistan
- 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 Afghani - 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 – İran
- 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 Tursunaliyeva - 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. Kuşunmaden – Türkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye

Dr. Ayşe Baran - Türkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454

Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

İlgi : 27.03.2024 tarihli ve E--903.07-474236 sayılı yazı

Fakültemiz Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı'nda görevli öğretim üyesi Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK'in 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 yevmiyesiz olarak görevlendirilme talebi ile ilgili dilekçesi ekte gönderilmiştir

Adı geçen öğretim üyesinin Academy Global Conference & Journals tarafından yapılan kongrelerin düzenleme kurullarında yolluksuz, yevmiyesiz olarak görevlendirilmesinde Dekanlığımızca bir sakınca bulunmamaktadır.

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -

GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel

Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.





FAR EAST ASIA 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
NOV 7 - 9, 2025
BALI

NO : **AC- 5F - 2025. 438u– 3054**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

15/11/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Uzakdoğu 5. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi** 7-9 Kasım 2025 tarihlerinde Bali’de 23 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 114 bildirinin 47’si Türkiye’den, 67’si ise farklı 22 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Hülya Çiçek

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA
5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA
5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA
5th INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION

Nov 7 - 9, 2025
Bali

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 sözkonusu olamaz.**
- Katılımcı, kendi oturumda, oturum bitene kadar bulunmak zorundadır.
- Katılımcıların kendi oturumları dışındaki oturumlara katılma zorunluluğu yoktur.
- ZOOM platformunun kapasite sınırı nedeniyle, DİNLEYİCİ, sadece kapasite izin verdiği sürece kabul edilebilmektedir.
- **SADECE ÇALIŞMADA YAZAR OLARAK GEÇEN KİŞİLER SUNUM YAPABİLİR !**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

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

TECHNICAL INFORMATION

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

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğr. Üyesi NESLİHAN ŞAHİN	1	PROBLEM-SOLVING STRATEGIES OF THIRD-GRADE SECONDARY SCHOOL STUDENTS	Dr. Öğr. Üyesi NESLİHAN ŞAHİN
		2	TEACHERS' ABILITY TO KEEP UP WITH ACADEMIC TEXTS PUBLISHED ON THEIR SUBJECTS	Dr. Naif KARDAŞ Sevgi DURAN
		3	A STUDY ON PROBLEMS ENCOUNTERED IN EDUCATION AND TEACHING ACTIVITIES CONDUCTED IN RURAL AREAS	Dr. Naif KARDAŞ Merve Nur SEZGİN
		4	AN EVALUATION OF SCIENTIFIC STUDIES ON THE 2023 MEASUREMENT AND EVALUATION REGULATION	Uzm. Hasan BİRİNCİ Prof. Dr. Mehmet Nuri KARDAŞ
		5	AN ANALYSIS OF CORE VALUES ADDRESSED IN TURKISH QUESTIONS ON THE HIGH SCHOOL TRANSITION EXAM BETWEEN 2018 AND 2022	Uzm. Hasan BİRİNCİ Prof. Dr. Mehmet Nuri KARDAŞ

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr., PERO DUYGU DUMANGÖZ	1	ASRIN FELAKETİ SONRASI SPOR LİSESİ ÖĞRENCİLERİNİN PSİKOLOJİK İYİ OLUŞ DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	YL, Öğrencisi, Şevval Berfin ÖZDEMİR Doç. Dr., Esra BAYRAK AYAŞ
		2	SPOR ALANINDA MOBBİNG OLGUSUNUN AKADEMİK GÖRÜNÜMÜ: SON ON YILIN ÇALIŞMALARINA YÖNELİK PRISMA TABANLI BİR İNCELEME	YELİZ CEMRE GÜMÜŞ Doç. Dr., PERO DUYGU DUMANGÖZ
		3	NEGATIVE OUTPUT OF RECREATIONAL SPORTS: CARBON FOOTPRINT	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN
		4	WATER SPORTS AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY: SYSTEMATIC SCOPE REVIEW	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. KEMAL YAMAN	1	HETEROGENEOUS DETERMINANTS OF BLUE ECONOMY DEVELOPMENT IN THE EUROPEAN UNION	Remy Jonkam Oben Mehdi Seraj Şerife Zihni Eyüpoğlu
		2	REBUILDING DIGITAL TRUST AND REPUTATION IN HEALTHCARE: MEASURING TRUST, PRIVACY PERCEPTION, AND THE INSTITUTIONAL CARE MODEL APPROACH	Dr. Öğr. Üyesi Furkan KARAHÜSEYİNOĞLU
		3	THE ADVANCEMENT OF ETHICAL GOVERNANCE IN DIGITAL HEALTH: A NOVEL FRAMEWORK CENTERED ON DATA PRIVACY,	Dr. Öğr. Üyesi Furkan KARAHÜSEYİNOĞLU
		4	BİST OTOMOTİV SEKTÖRÜ ŞİRKETLERİNİN FİNANSAL PERFORMANSININ OBJEKTİF AĞIRLIKLİ MARCOS YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	Öğr. Gör. Dr. Ümit Hasan GÖZKONAN Arş. Gör. Dr. Erdi BAYRAM Arş. Gör. Tolga ÇAĞLAYANSUDUR
		5	AN EVALUATION OF THE INTEGRATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES INTO THE CIRCULAR ECONOMY	Dr. Özden Şentürk Prof. Dr. Seyhun Doğan
		6	THE EFFECTS OF RELIGIOUS RITUALS ON THE GASTRONOMICAL CONSUMPTION HABITS OF INDIVIDUALS	Dr. Öğr. Üyesi FATMA (ALBAK) YALINIZ AYŞENUR KAMALAK
		7	AFET YÖNETİMİNDE ÇOK DÜZEYLİ YÖNETİŞİM YAKLAŞIMI: TÜRKİYE İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ	Prof. Dr. KEMAL YAMAN Araştırma Görevlisi YAŞİN KAÇAR Araştırma Görevlisi MUHAMMED KASIM KAVAK
		8	İKLİM KANUNU: HAYAL Mİ? HEDEF Mİ?	Prof. Dr. KEMAL YAMAN

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI	1	ANTON CEHOV'UN "ÇİNGENE KAYNANA" ÖYKÜSÜNDE KADININ ERİLLİĞİ ve TOPLUMSAL CİNSİYET EŞİTLİĞİ	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	FROM ENVIRONMENTAL ETHICS TO THE THEORY OF TRANSFORMATION: THE CATHARSIS STAGE IN THE EPF–METAMORPHOSIS MODEL	Recep KÜLCÜ
		3	FROM ENVIRONMENTAL ETHICS TO TRANSFORMATION THEORY: THE METAXIS STAGE IN THE EPF–METAMORPHOSIS MODEL	Recep KÜLCÜ
		4	KAHRAMANIN YOLCULUĞU MODELİ VE BEAT SHEET YÖNTEMİNİN KLASİK SINEMA ANLATISINDAKİ ROLÜ	Dr. Öğr. Üyesi, SEMİH KAŞIKÇI
		5	TECHNOLOGY, AESTHETICS, SOCIAL ORIENTATIONS and NAM JUNE PAIK IN THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF DIGITAL ART	Öğr. Gör. Ümit PARSIL Prof. Dr. Fahrettin GEÇEN
		6	THE IMPRESSIVE EFFECTS OF İBRAHİM ÇALLI'S WORKS	Öğr. Gör. Ümit PARSIL Nihat LEVENT
		7	ALGISAL YÖNELİM ve GERÇEKLİK İLİŞKİSİNDE POSTDİJİTAL SANAT	Doç. Dr. Engin GÜNEY Dr. Serpil UYSAL
		8	HAYAT AĞACI MİTOLOJİSİ ve ÇAĞDAŞ SANATTA KULLANIMI	Doç. Dr. Engin GÜNEY Ashhan TURNA

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Behice ERCİ	1	STABILITY STUDY OF METHEMOGLOBIN IN STORED BLOOD SAMPLE.	Saadi Fatima Zohra
		2	VACCINE HESITANCY	Prof. Dr. Behice ERCİ
		3	SUCCESSFUL AGING IN RURAL ELDERLY PEOPLE	Prof. Dr. Behice ERCİ
		4	THE PI3K/AKT SIGNALING PATHWAY AND ITS IMPORTANCE IN CANCER	Şamil ÖZTÜRK İlhan ÖZDEMİR
		5	THE ROLE OF RUNX2 IN CANCER DEVELOPMENT	Şamil ÖZTÜRK İlhan ÖZDEMİR
		6	YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZLERİNİN FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Prof. Dr., Umut CANLI
		7	YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZİ UYGULAMALARI: DENGİ PERFORMANSININ GELİŞİMİ	Prof. Dr., Umut CANLI

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. Selahattin BARDAK	1	Computer-Assisted Feedback Types (Video-Based, Text-Based and Audio-based) Affecting Speaking and Writing Anxiety	Prof. Abbas Ali Zarei
		2	EVALUATION OF CONSUMERS' REASONS FOR FURNITURE RETURNS USING THE DECISION TREE MODEL	Prof. Dr. Selahattin BARDAK Prof. Dr. Timuçin BARDAK Prof. Dr. Kinyas POLAT
		3	WEB MINING OF NEWS CONTENT IN THE FURNITURE DOMAIN: EVIDENCE FROM NEWS SEARCH	Prof. Dr. Timuçin BARDAK Prof. Dr. Kinyas POLAT Prof. Dr. Selahattin BARDAK
		4	YOLOV11 TABANLI CNN VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ MİMARİLERİ İLE KEMİK YAŞI TAHMİNİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Muhammed Yusuf İTMİŞ Doç. Dr., Feyza ALTUNBEY ÖZBAY
		5	EEG SİNYALLERİNDEN EPİLEPSİ TESPİTİ İÇİN CWT-CNN VE TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Rumeysa KOÇAK DOĞAN Doç.Dr., Feyza ALTUNBEY ÖZBAY

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL	1	NEW LOMAX–WEİBULL DAĞILIMI İÇİN PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	MELEK SELCAN KAYMAKÇI Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL
		2	KALP HASTALIĞI TAHMİNİNDE KAN VE DİĞER MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ	MELEK SELCAN KAYMAKÇI Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL Doç. Dr. Melih Ağraz
		3	EFFICIENTNET-B7 İLE MEME KANSERİ HİSTOPATOLOJİK GÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	Uzman Hemşire SÜHEYLA DEMİRTAŞ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL Dr. Öğr. Üyesi EMRAH ASLAN Dr. Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK
		4	MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARIYLA POLİKİSTİK OVER SENDROMUNUN TANISAL SINIFLANDIRILMASI	Uzman Hemşire SÜHEYLA DEMİRTAŞ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL Dr. Öğr. Üyesi EMRAH ASLAN Dr. Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK
		5	DÜŞ DÖNÜŞÜM TEKNİĞİNE DAYALI YENİ BİR YAŞAM SÜRESİ DAĞILIMININ İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PARAMETRE TAHMİNİ	Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL
		6	HAQ DAĞILIMI İÇİN EN ÇOK OLABİLİRLİK TAHMİN EDİCİLERİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİNE DAYALI ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ	Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Ioana Moldovan	1	DIGITAL PEDAGOGY TRANSFORMATION IN POST-COVID CLASSROOMS FOR HIGHER EDUCATION LEARNERS	Rashad Guliyev Dr. Nigar Ahmadova
		2	AI-SUPPORTED ADAPTIVE ASSESSMENT MODELS FOR COMPETENCY-BASED HIGHER EDUCATION IN AZERBAIJAN	Elvin Mammadli Assoc. Prof. Dr. Sevinj Babayeva
		3	STUDENT MOTIVATION SHIFT IN MOBILE LEARNING ENVIRONMENTS WITHIN TEHRAN-BASED UNIVERSITIES	Seyyed Ali Mirzaei Maryam Soltani
		4	COMPARATIVE LEARNING ANALYTICS FOR ENGINEERING STUDENTS USING DIFFERENT DIGITAL CONTENT ARCHITECTURES	Mohammad Reza Taghavi Zahra Farshad
		5	COGNITIVE LOAD REDUCTION BY MICRO-LEARNING ITEMS IN STEM-FOCUSED ROMANIAN HIGHER EDUCATION	Dr. Adrian Ionescu Dr. Ioana Moldovan
		6	DEVELOPMENT OF AN EDTECH MATURITY INDEX FOR QUALITY INDICATORS IN ROMANIAN SECONDARY SCHOOLS	Catalin Dumitru Elena Stan
		7	INQUIRY-BASED STEM TEACHING MODELS FOR RURAL MOROCCAN SCHOOLS IN LOW-RESOURCES CONTEXTS	Assis. Prof. Youssef El Amrani
		8	EMOTIONAL PRESENCE AS A VALIDATED LEARNING OUTCOME METRIC IN HYBRID MOROCCAN CLASSROOMS	Amina Bouhlal Zakaria Tazi

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Leyla Karimi	1	ARCHAEOLOGICAL HERITAGE ROUTES AND NOMADIC NETWORKS IN THE TIEN SHAN REGION	Dr. Aizada Sadykova Bakytbek Omurzak
		2	OTTOMAN-RUSSIAN FRONTIER INTERACTIONS AND RELIGIOUS ARCHIVES IN NORTHERN FERGANA	Prof. Dr. Almazbek Zhaparov
		3	INTELLECTUAL EXCHANGES BETWEEN QAJAR IRAN AND CENTRAL ASIA DURING THE 19TH CENTURY	Mahdi Farhadi Farzaneh Ghaffari Arash Mirjalili
		4	THE TRANSFORMATION OF SAFAVID MILITARY ELITES AFTER THE AFGHAN INVASION (1722-1760)	Assoc. Prof. Dr. Leyla Karimi
		5	CHRISTIAN MONASTIC TRADITIONS IN THE GONDAR HIGHLANDS AND THEIR LEGACIES IN MODERN ETHIOPIA	Dr. Alemu Bekele
		6	A COMPARATIVE STUDY OF PRE-AXUMITE TRADE SEALS AND EARLY RED SEA PORT SYSTEMS	Dr. Hiwot Gebremariam Yohannes Tesfay
		7	FRENCH COLONIAL CARTOGRAPHY AND THE MAKING OF THE SAHARA BORDER SYSTEM (1881-1918)	Ahmed Cherrad

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Ramesh Chandra Dr. Kavita Joshi	1	CONTEMPORARY PUBLIC ART AND URBAN TRANSFORMATION IN BISHKEK	Dr. Aizada Sadykova Prof. Dr. Ruslan Toktomushev
		2	TRADITIONAL KYRGYZ FELT-MAKING: FROM FOLK CRAFT TO MODERN DESIGN	Assis. Prof. Dr. Gulnara Jangaraeva
		3	THE EVOLUTION OF MOSAIC ART IN KOSOVO: INTERPLAY OF RELIGIOUS AND SECULAR THEMES	Dr. Arben Krasniqi Prof. Dr. Eda Berisha
		4	VISUAL NARRATIVES OF POST-WAR IDENTITY IN KOSOVO PHOTOGRAPHY	Dr. Liria Sahiti Assis. Prof. Dr. Erion Hoxha
		5	THE IMPACT OF MALAY TRADITIONAL BATIK ON CONTEMPORARY FASHION DESIGN IN MALAYSIA	Dr. Nur Aisyah Rahman Assoc. Prof. Dr. Ahmad Faizal Musa
		6	DIGITAL ART EDUCATION IN MALAYSIA: CHALLENGES AND INNOVATIONS IN A POST-PANDEMIC ERA	Prof. Dr. Siti Nabilah Abdul Karim Dr. Faridah Mohamad
		7	REVIVAL OF INDIAN MINIATURE PAINTING IN GLOBAL ART DISCOURSE	Prof. Dr. Ramesh Chandra Dr. Kavita Joshi

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assis. Prof. Dr. Samira Yazdani	1	MACROECONOMIC POLICY RESPONSES AND FISCAL SUSTAINABILITY IN NIGERIA	Dr. Olufemi Adekunle Prof. Dr. Amarachi Okafor
		2	ECONOMIC INEQUALITY AND SOCIAL MOBILITY IN URBAN NIGERIA: A MULTILEVEL ANALYSIS	Victor Chukwu
		3	TRADE LIBERALIZATION AND EXPORT PERFORMANCE IN GEORGIA: ASSESSING SECTORAL DYNAMICS	Prof. Dr. Irakli Dolidze Tamarlan Beridze
		4	THE IMPACT OF TOURISM DEVELOPMENT ON LOCAL ECONOMIES IN GEORGIA	Assis. Prof. Dr. Giorgi Margvelashvili Nina Kobakhidze
		5	FINTECH ADOPTION AND FINANCIAL INCLUSION IN PAKISTAN: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Assoc. Prof. Dr. Yasir Mahmood Prof. Dr. Rabia Khan
		6	AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND FOOD SECURITY STRATEGIES IN RURAL PAKISTAN	Dr. Asadullah Qureshi Assis. Prof. Dr. Shabana Irfan
		7	ENERGY POLICY TRANSFORMATIONS AND ECONOMIC GROWTH IN IRAN	Prof. Dr. Reza Farhadi Dr. Laleh Taheri
		8	THE ROLE OF EDUCATION INVESTMENT IN REDUCING YOUTH UNEMPLOYMENT IN IRAN	Assis. Prof. Dr. Samira Yazdani

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Soukaina El Hachimi	1	IMPACT OF DIGITAL TRANSFORMATION ON PUBLIC SECTOR PERFORMANCE AND SERVICE QUALITY	Dr. Samir Bouzid Assoc. Prof. Dr. Nadia Belkacem
		2	STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES IN ALGERIAN PUBLIC ENTERPRISES	Prof. Dr. Hakim Cherif Leila Bensaid
		3	E-GOVERNANCE IMPLEMENTATION AND ITS CHALLENGES IN THE GEORGIAN PUBLIC ADMINISTRATION	Dr. Irakli Tsereteli
		4	CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY AND SUSTAINABLE BUSINESS MODELS IN GEORGIAN FIRMS	Dr. Tamar Abashidze Dr. Giorgi Meladze
		5	FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES FOR ENTREPRENEURSHIP GROWTH IN TUNISIA	Prof. Dr. Yasmine Ben Ghalia Rami Dhouib Ahmed Majdoub
		6	PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIPS IN INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT: POLICY AND PRACTICE IN TUNISIA	Assis. Prof. Dr. Amira Bouaziz Dr. Salim Jaziri
		7	INNOVATION MANAGEMENT AND BUSINESS PERFORMANCE IN MOROCCAN COMPANIES	Dr. Soukaina El Hachimi
		8	SOCIAL INNOVATION IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS: THE CASE OF MOROCCO	Prof. Dr. Youssef Sekkat Assis. Prof. Dr. Mouna Arroud Assoc. Prof. Dr. Rachid Boutkhil

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. Arben Dervishi	1	MIGRATION TRENDS AND SOCIAL SECURITY CHALLENGES IN AZERBAIJAN	Dr. Orkhan Hashimli
		2	THE IMPACT OF EMIGRATION ON FAMILIAL SOCIAL SECURITY NETWORKS IN AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Leyla Aliyeva
		3	MIGRATION PATTERNS AND SOCIAL INTEGRATION AMONG RETURNEES IN ALBANIA	Prof. Dr. Arben Dervishi
		4	CHALLENGES OF PROVIDING SOCIAL SECURITY TO MIGRANT WORKERS IN THE ALBANIAN LABOR MARKET	Dr. Mira Shkreli
		5	THE INFLUENCE OF INTERNATIONAL MIGRATION ON SOCIAL INSURANCE SYSTEMS IN KOSOVO	Dr. Fatmir Hashani
		6	SOCIAL PROTECTION MEASURES FOR RETURN MIGRANTS IN POST-CONFLICT KOSOVO	Assis. Prof. Dr. Arjeta Mehana
		7	MIGRATION AND ACCESS TO HEALTH AND SOCIAL SECURITY PROGRAMS IN LAOS	Somchith Pholsena
		8	THE ROLE OF INFORMAL NETWORKS IN SOCIAL SECURITY OF MIGRANT COMMUNITIES IN LAOS	Dr. Mai Sakhanh

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Lucie Martin	1	PSYCHOLOGICAL SAFETY AND WELL-BEING IN HIGH-STRESS MEDICAL ENVIRONMENTS: INSIGHTS FROM EGYPTIAN HOSPITALS	Dr. Salma El-Sayed Prof. Dr. Ahmed Farouk
		2	IMPACT OF PSYCHOLOGICAL SAFETY INITIATIVES ON NURSE RETENTION AND SATISFACTION	Dr. Hoda Ghaleb Assis. Prof. Dr. Amr Tawfik
		3	WORKPLACE PSYCHOLOGICAL SAFETY IN FRENCH MULTINATIONAL CORPORATIONS: CULTURAL INFLUENCES AND OUTCOMES	Dr. Lucie Martin
		4	CREATING RESILIENT TEAMS THROUGH PSYCHOLOGICAL SAFETY IN FRENCH STARTUPS	Dr. Jean-Paul Lefevre Assis. Prof. Dr. Chloé Dubois Prof. Dr. Camille Rousseau
		5	STUDENT PERCEPTIONS OF PSYCHOLOGICAL SAFETY IN BANGLADESHI UNIVERSITIES DURING THE COVID-19 PANDEMIC	Dr. Nazmun Nahar Assis. Prof. Dr. Mahbub Alam
		6	IMPACT OF TEACHER PSYCHOLOGICAL SAFETY ON CLASSROOM CLIMATE AND STUDENT PERFORMANCE IN BANGLADESH	Prof. Dr. Ruhul Amin
		7	THE ROLE OF PSYCHOLOGICAL SAFETY IN ORGANIZATIONAL INNOVATION: CASE STUDIES FROM VIETNAM	Dr. Minh Tu Nguyen Assis. Prof. Dr. Hoai Nam Bui

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assis. Prof. Dr. Ana Patricia Gomez	1	ENGLISH LITERATURE AND IDENTITY FORMATION IN MODERN YEMENI NARRATIVES	Dr. Amina Al-Sharafi Assoc. Prof. Dr. Sami El-Yafei
		2	POSTCOLONIAL THEMES IN THE WORKS OF YEMENI WOMEN WRITERS	Prof. Dr. Huda Al-Wahedi
		3	LINGUISTIC INNOVATION AND THE EVOLUTION OF PAKISTANI PROSE	Dr. Asim Karim Dr. Kaleem Raza Khan
		4	THE INFLUENCE OF SUFI POETRY ON CONTEMPORARY PAKISTANI LITERARY DISCOURSE	Assoc. Prof. Dr. Sofia Hussain Dr. Salma Khatoon
		5	THE IMPACT OF SPANISH COLONIALISM ON PHILIPPINE LANGUAGE VARIETIES	Prof. Dr. Maria Rosario Santos Dr. Jona Mae Cruz
		6	GENDER, CULTURE, AND MODERNITY IN FILIPINO WOMEN'S FICTION	Assis. Prof. Dr. Ana Patricia Gomez
		7	MODERN VIETNAMESE POETRY: MOVEMENTS, THEMES, AND TRANSNATIONAL CONNECTIONS	Dr. Nguyen Thi Minh Assis. Prof. Dr. Pham Van Khoa
		8	VIETNAMESE FOLKTALES AND THEIR REINTERPRETATION IN CHILDREN'S LITERATURE	Prof. Dr. Le Quang Hung

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	PROF. DR. MUSTAFA BOZDEMİR	1	SİSTEMATİK TASARIM VE EKONOMİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ	PROF. DR. MUSTAFA BOZDEMİR
		2	SİSTEMATİK TASARIM UYGULAMASINDA ŞARTNAME OLUŞTURMA: KURAMSAL ÇERÇEVE, METODOLOJİ VE UYGULAMA ÖNERİLERİ	PROF. DR. MUSTAFA BOZDEMİR
		3	MODELING AND MECHANICAL EVALUATION OF AUXETIC-CORE SMART SANDWICH PLATES VIA HIGH-ORDER SHEAR DEFORMATION THEORY	Mustafa Buğday
		4	MECHANICAL PROPERTIES AND AUXETIC BEHAVIOR OF HONEYCOMB CORE SANDWICH NANOPATES	Dr. Öğrt. Üyesi Mustafa Buğday Prof. Dr. İsmail Esen
		5	ANALYSIS OF CLEAN ENERGY SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION	Öğr. Gör., METİN KAYNAKLI Öğr. Gör., OLCAY PALTA
		6	EXAMINATION OF THE CHARGING INFRASTRUCTURE OF ELECTRIC MEDIUM AND HEAVY DUTY VEHICLES	Öğr. Gör., METİN KAYNAKLI Öğr. Gör., OLCAY PALTA
		7	AlFeNiCoMn YÜKSEK ENTROPİLİ ALAŞIM TOZLARINDA ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN MİKROYAPISAL İYİLEŞMEYE ETKİSİ	Öğr. Gör. BÜŞRA TUNÇ Prof. Dr. İLYAS SOMUNKIRAN
		8	ÇOK KADEMELİ ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN AlNiCo ESASLI ALAŞIMLARDA MANYETİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	Öğr. Gör. BÜŞRA TUNÇ Prof. Dr. İLYAS SOMUNKIRAN

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Belgin COŞGE ŞENKAL	1	FIRST FINDING OF DEUTONYMPH SPECIMENS OF PROZERCON CELALİ (ACARI: ZERCONIDAE)	Assoc. Prof. Dr. MEHMET KARACA Prof. Dr. RAŞİT URHAN
		2	ZERCONID MITES (ACARI: ZERCONIDAE) RECORDED FROM THE CENTRAL ANATOLIA REGION OF TÜRKİYE	Assoc. Prof. Dr. MEHMET KARACA Prof. Dr. RAŞİT URHAN
		3	CRISPR/Cas-BASED IMPLEMENTATIONS IN THE DIAGNOSIS OF PLANT PATHOGENIC MICROORGANISMS	Dr Öğr. Üyesi Berna BAŞ
		4	CARBON-DOPED TiO ₂ FOR THE ENHANCED PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF CIPROFLOXACIN	Nazli Turkten Yunus Karatas Yelda Yalcin Gurkan Simal Kurumoglu
		5	THE PREDICTED TOXICITY STUDY OF FOUR SELECTED VAT DYES	Nazli Turkten Yunus Karatas Yelda Yalcin Gurkan Simal Kurumoglu
		6	THE EVALUATION OF FLOWER YIELD IN SOME SAFFLOWER (<i>CARTHAMUS TINCTORIUS L.</i>) CULTIVARS GROWN IN SEMI-ARID CONDITIONS	Prof. Dr. Belgin COŞGE ŞENKAL
		7	KOYUN VE EŞEK SÜTLERİNDE TİTANYUM VE KALSİYUM KONSANTRASYONLARININ İCP- MS İLE ANALİZİ	Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN Doç. Dr. NİLGÜN PAKSOY
		8	İNEK SÜTÜNDE GÜNCEL, UYGULANABİLİR VE YÜKSEK HASSASİYETLİ İCP-MS YÖNTEMİ İLE ELEMENT ANALİZİ	Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN Doç. Dr. NİLGÜN PAKSOY

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ	1	RENEWABLE AND SUSTAINABLE AGRO-INDUSTRIAL WASTE APPROACH	Res. Assist. Dr., Ceren UNLUKAL Assoc. Prof. Dr., Gokhan Onder ERGUVEN
		2	EVALUATION OF THE CLEAN ENERGY POTANTIAL OF TURKIYE	Res. Assist. Dr., Ceren UNLUKAL Assoc. Prof. Dr., Gokhan Onder ERGUVEN Doçent Dr., Gürdal KANAT
		3	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A FLOWMETER CONTROLLER FOR USE IN AGRICULTURAL SPRAYING WITH ARM-BASED STM32F103VCT6	Muhammet Mert TUNCCEL Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR
		4	SENSOR-BASED AUTOMATIC AGRICULTURAL SPRAYING SYSTEM FOR COMBATING OLIVE FLY AND MEDITERRANEAN FRUIT FLY	Muhammet Mert TUNCCEL Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN Hayati MAMUR
		5	FABRICATION AND INVESTIGATION OF THE PHOTODIODE PROPERTIES OF AN Au/CRYSTAL VIOLET/p-Si/Al HYBRID SCHOTTKY DIODE	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ
		6	FABRICATION AND ADVANCED PHOTODIODE APPLICATIONS OF AN Au/PbO ₂ /p-Si/Al METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR (MOS) DIODE	Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ
		7	ENERGY AND EXERGY PERFORMANCE OF A GROUND-SOURCE HEAT PUMP FOR GREENHOUSE HEATING IN COLD CLIMATES	Enes AKÇAY Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN
		8	REUTILIZATION OF MARINE EXHAUST HEAT FOR COOLING: ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF A SHAFT-DRIVEN RANKINE-COMPRESSION SYSTEM WITH MIXTURE REFRIGERANTS	Enes AKÇAY Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. ELİF ÇAĞDA KANDEMİR	1	EFFECT OF ACTIVATOR ADDITION SEQUENCE ON EARLY-AGE STRENGTH AND WORKABILITY OF FINELY GROUND PUMICE-BASED GEOPOLYMER MIXES	Doç. Dr. Serhat ÇELİKİTEN
		2	EFFECT OF LIME ADDITION ON EARLY-AGE STRENGTH DEVELOPMENT OF GEOPOLYMER MORTARS BASED ON BASALT STONE CUTTING WASTE AND SILICA FUME	Doç. Dr. Serhat ÇELİKİTEN
		3	POST-EARTHQUAKE DAMAGE ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS	UFUK AKIN Prof. Dr. ELİF ÇAĞDA KANDEMİR
		4	INFLUENCE OF BUILDING HEIGHT ON THE SEISMIC RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES	Prof. Dr. ELİF ÇAĞDA KANDEMİR
		5	EFFECTS OF MORDANT AMOUNT ON COLOR PROPERTIES IN SCOTS PINE WOOD DYED WITH HELICHRYSUM ARENARIUM EXTRACT AND ALUM	Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Abdi ATILGAN Doç. Dr. Ümit AYATA
		6	USE OF WOOD PRESERVATIVE OILS WITH DIFFERENT PROPERTIES ON ORIENTAL BEECH WOOD	Doç. Dr. Abdi ATILGAN Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Ümit AYATA
		7	INSAR APPROACH FOR MONITORING AND IDENTIFYING GEOLOGICAL HAZARDS: AN EVALUATION BASED ON CASE STUDIES FROM TÜRKİYE AND IRAN	Dr. Marjan TOURANI

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ	1	A GENERAL OVERVIEW OF THE DEBATE ABOUT WHETHER ASHKENAZ JEWS ARE OF TURKISH ORIGIN	Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ
		2	THE “BLACK LEGEND” AS A PROPAGANDA TOOL OF EUROPEAN STATES AGAINST SPAIN IN THE 16TH AND 17TH CENTURIES	Prof. Dr. RAMAZAN ADIBELLİ
		3	NASİRÜDDİN TÛSÎ’NİN “TEZKİRATÜ Fİ’L-MEBDE VE’L-MEAD” ADLI ESERİNDEN HAREKETLE AHİRET HAKKINDAKİ GÖRÜŞLERİ	Doç. Dr. Fevzi YİĞİT
		4	SOCIAL WORK IN THE DIGITALIZATION ERA: AN EVALUATION IN TERMS OF LEVELS OF INTERVENTION	Dr. Öğr. Üyesi, Hüseyin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi, Resul DURAN Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ
		5	QUANTITATIVE ANALYSIS OF STUDIES RELATED TO THE CONCEPTS OF “POVERTY” AND “SOCIAL WORK/SOCIAL SERVICE” USING VOSVIEWER: A BIBLIOMETRIC APPROACH	Dr. Öğr. Üyesi, Hüseyin DOĞAN Dr. Öğr. Üyesi Ahmet USANMAZ Dr. Öğr. Üyesi, Resul DURAN

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN	1	SOCIOCULTURAL ANALYSIS OF NARRATIVE REPRESENTATIONS IN CHILDREN'S STORIES CREATED WITH STORY CUBES	Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN
		2	STORY CUBES AS AN EXPERIENTIAL SPACE IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS	Doç. Dr. Burcu GEZER ŞEN
		3	MAPPING THE TRENDS AND INTELLECTUAL STRUCTURE OF TEACHER COLLABORATION RESEARCH (1985-2024): A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	Öğr. Gör. Sezai ÖZEL Doç. Dr. Muhammed ZİNCİRLİ
		4	DEVELOPING DESIGN PRINCIPLES FOR TEACHER SUPPORT FOR STUDENTS' ENGLISH LANGUAGE SKILLS	Menik Darmiati Rully Charitas Indra Prahmana Suyitno
		5	A PHENOMENOLOGICAL PHILOSOPHY PERSPECTIVE ON EDUCATIONAL TRANSFORMATION IN THE KASEPUHAN GELAR ALAM INDIGENOUS VILLAGE, SUKABUMI REGENCY	Edeh Dike MARISKE Dwi SULISWORO Ika MARYANI
		6	ELIMINATING BULLYING THROUGH COLLABORATIVE SCHOOL CULTURE: A CASE STUDY AT SMA PESANTREN UNGGUL AL BAYAN PUTRI SUKABUMI	Winarno Suparman Ani SUSANTI

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assis. Prof. Dr. Enrico Ramos	1	NOVEL CATALYTIC MATERIALS FOR ENHANCED HYDROGEN PRODUCTION	Dr. Hassan Al-Harazi Assis. Prof. Dr. Layla Abdulrahman Dr. Amal Saeed
		2	APPLICATION OF GREEN SYNTHESIS TECHNIQUES IN THE PREPARATION OF ORGANIC COMPOUNDS	Assoc. Prof. Dr. Omar Al-Maktari Dr. Amal Saeed
		3	MOLECULAR MODELING AND SIMULATION OF ENZYME ACTIVITY IN BIOCHEMICAL PROCESSES	Prof. Dr. Sonia Qureshi Dr. Imran Shabbir
		4	ELECTROCHEMICAL METHODS FOR POLYMER MODIFICATION IN INDUSTRIAL CHEMISTRY	Dr. Sara Khan Assoc. Prof. Dr. Fahad Usman
		5	ADVANCES IN NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION	Dr. Mikaela Jimenez Prof. Dr. Angelica Cruz Dr. Josefina Tomas
		6	SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE METAL COMPLEXES FOR MEDICINAL CHEMISTRY	Assis. Prof. Dr. Enrico Ramos
		7	PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS OF METAL OXIDES IN SOLAR ENERGY CONVERSION	Dr. Nguyen Thi Mai Prof. Dr. Pham Van Dong Assoc. Prof. Dr. Le Quang Minh
		8	CHEMICAL KINETICS OF NOVEL ORGANIC REACTIONS UNDER MICROWAVE IRRADIATION	Dr. Tran Van Hao

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assis. Prof. Dr. Rana Jamil	1	EFFICIENT POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR SMART GRID SYSTEMS	Dr. Shahin Enayati Dr. Hossein Arab
		2	DEEP LEARNING METHODS FOR AUTOMATED FAULT DETECTION IN INDUSTRIAL ELECTRONICS	Dr. Hossein Arab Dr. Shahin Enayati
		3	OPTIMIZATION OF SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS	Ahmed Al-Zubaidi
		4	AI-ENABLED IOT DEVICES FOR REMOTE HEALTHCARE MONITORING	Assis. Prof. Dr. Rana Jamil
		5	HIGH-PERFORMANCE EMBEDDED SYSTEMS FOR AUTONOMOUS ROBOTICS	Dr. Jericho L. Reyes
		6	NANOTECHNOLOGY APPROACHES TO FLEXIBLE ELECTRONIC DEVICES	Prof. Dr. Amelia Santos De La Salle University
		7	ROBUST WIRELESS COMMUNICATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION	Dr. Alexandru Porumb
		8	INTEGRATED CIRCUIT DESIGN FOR ENERGY-EFFICIENT COMPUTING	Assis. Prof. Dr. Camelia Ionescu

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Ekaterina Pavlenko Prof. Dr. Ioan Georgescu	1	EPIDEMIOLOGICAL TRENDS IN CARDIOVASCULAR DISEASES AMONG ADULTS	Assis. Prof. Dr. Sara Heidari Dr. Zahra Tavakoli Prof. Dr. Morteza Jamshidi
		2	MOLECULAR DIAGNOSTICS FOR EARLY DETECTION OF BREAST CANCER	Dr. Farhad Bahrami
		3	IMPACT OF HEPATITIS PREVENTION PROGRAMS ON COMMUNITY HEALTH	Dr. Saad Abdullatif Maha Al-Khalil
		4	REHABILITATION STRATEGIES FOR TRAUMATIC BRAIN INJURY PATIENTS	Dr. Hadi Al-Bayati Assis. Prof. Dr. Noor Jabbar Assoc. Prof. Dr. Waleed Hassan
		5	TRENDS IN OBESITY AND NUTRITIONAL STATUS OF SCHOOLCHILDREN	Assis. Prof. Dr. Maria Sison Dr. Joshua Manalac
		6	TELEHEALTH SOLUTIONS FOR CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN RURAL COMMUNITIES	Prof. Dr. Angelica Cruz Dr. Ralf Bernardo Assis. Prof. Dr. Kristina Gomez
		7	PREVALENCE AND TREATMENT OUTCOMES OF TYPE 2 DIABETES IN URBAN ADULTS	Dr. Ekaterina Pavlenko Prof. Dr. Ioan Georgescu
			EVALUATION OF IMMUNIZATION COVERAGE AND VACCINE HESITANCY IN PEDIATRIC POPULATIONS	Dr. Amira Benmohamed Prof. Dr. Khaled Bensalem Assis. Prof. Dr. Nassima Chafai Assis. Prof. Dr. Sorin Filip
		8	MENTAL HEALTH INTERVENTIONS FOR ADOLESCENTS IN SCHOOL SETTINGS	Dr. Ana Maria Popescu Assis. Prof. Dr. Sorin Filip

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assis. Prof. Dr. Davide Ferrara	1	ADVANCED CHARACTERIZATION OF METAL MATRIX COMPOSITES FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS	Dr. Luca Moretti Prof. Dr. Francesca Romano
		2	DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE CERAMIC COATINGS FOR THERMAL BARRIER SYSTEMS	Assis. Prof. Dr. Davide Ferrara
		3	INFLUENCE OF NANOSTRUCTURED SURFACES ON BIOCOMPATIBILITY OF MEDICAL IMPLANTS	Prof. Dr. Nurzhan Alimov Dr. Aigerim Yeskaliyeva
		4	MICROMECHANICAL ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS UNDER CYCLIC LOADING	Assis. Prof. Dr. Amir Yemeen Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Omarov
		5	OPTIMIZING ADDITIVE MANUFACTURING PARAMETERS FOR TITANIUM ALLOYS	Dr. Anastasia Volkova Prof. Dr. Viktor Lebedev
		6	IN SITU MONITORING OF PHASE TRANSFORMATIONS DURING HEAT TREATMENT OF ALUMINUM ALLOYS	Dr. Olga Antonova
		7	EFFECTS OF REINFORCEMENT TYPOLOGY ON POLYMER COMPOSITE STRENGTH	Dr. Anil Kumar
		8	NOVEL SYNTHESIS ROUTES FOR METAL-OXIDE NANOPARTICLES IN CATALYSIS	Dr. Sathya Raman Prof. Dr. Manoj Rao

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Giorgi Mchedlishvili	1	EFFECTS OF DIETARY VITAMINS ON REPRODUCTIVE HEALTH IN DAIRY CATTLE	Dr. Marc Lefebvre Prof. Dr. Céline Durand
		2	MOLECULAR DIAGNOSTICS IN INFECTIOUS DISEASES OF FARM ANIMALS	Dr. Lucille Fournier Assis. Prof. Dr. Vincent Martin
		3	PREVALENCE AND CONTROL OF PARASITIC INFECTIONS IN LIVESTOCK OF OMAN	Dr. Salim Al-Harthi
		4	RESPIRATORY DISEASE MONITORING IN CAMELS: RECENT ADVANCES	Dr. Amal Al-Siyabi Assis. Prof. Dr. Tariq Al-Hashmi Dr. Fawzia Al-Kindi
		5	NANOTECHNOLOGY IN VETERINARY DRUG DELIVERY SYSTEMS IN INDIA	Dr. Ramesh Singh Prof. Dr. Priya Kumar
		6	GENOMIC SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN POULTRY	Dr. Meera Gupta Assis. Prof. Dr. Arun Patil
		7	ZOONOTIC DISEASE SURVEILLANCE AND EPIDEMIOLOGY IN GEORGIA	Dr. Giorgi Mchedlishvili
		8	ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP STRATEGIES IN VETERINARY HOSPITALS	Prof. Dr. Nino Beridze Assis. Prof. Dr. Eka Chikvaidze Dr. Tamar Tsiklauri Prof. Dr. Davit Tsintsadze

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Adrian Berisha	1	NOVEL APPROACHES TO ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN PHARMACEUTICAL THERAPIES	Dr. Elena Sokolova Prof. Dr. Ivan Petrov Assoc. Prof. Dr. Sergei Volk Dr. Tatiana Morozova
		2	NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR ENHANCED DRUG BIOAVAILABILITY	Dr. Sara El Omari Prof. Dr. Rabia Bourkia
		3	HERBAL MEDICINE FORMULATION AND STANDARDIZATION IN MODERN PHARMACY	Dr. Amina Chafai Assoc. Prof. Dr. Nabil El Fassi Prof. Dr. Laila Benhaddou
		4	INNOVATIVE VACCINE DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EMERGING DISEASES	Dr. Chinedu Okafor Prof. Dr. Rose Olayemi Dr. John Adeyemi
		5	PHARMACOGENOMICS AND ITS IMPACT ON CHRONIC DISEASE MANAGEMENT	Dr. Oluwatoyin Adebayo Assoc. Prof. Dr. Grace Umeh Dr. Abubakar Musa Prof. Dr. Funke Odu
		6	ADVANCES IN BIOINFORMATICS FOR PHARMACEUTICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT	Dr. Adrian Berisha Prof. Dr. Lirije Shabani
		7	QUALITY CONTROL STRATEGIES FOR GENERIC MEDICINES IN REGIONAL PHARMACEUTICAL INDUSTRY	Dr. Ardian Krasniqi Assoc. Prof. Dr. Burim Hoxha

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Vuk Stevanovic	1	ADVANCED MATERIALS CHARACTERIZATION FOR NEXT-GENERATION ENGINEERING APPLICATIONS	Dr. Markus Schulz Prof. Dr. Eva Schneider
		2	AUTOMATED CONTROL SYSTEM DESIGN IN SMART MANUFACTURING PROCESSES: OPTIMIZATION AND IMPLEMENTATION	Assoc. Prof. Dr. Luisa Hoffmann Assis. Prof. Dr. Fana Berhane Dr. Felix Becker
		3	STRUCTURAL ANALYSIS AND SEISMIC PERFORMANCE OF URBAN INFRASTRUCTURES IN ERITREA	Dr. Samson Tekeste
		4	RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ERITREAN POWER GRIDS	Prof. Dr. Yohannes Habte Dr. Ghedion Michael Prof. Dr. Nebiat Mesfin
		5	HIGH-PERFORMANCE POLYMER COMPOSITES FOR ADVANCED SERBIAN AUTOMOTIVE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Milos Jovanovic Jelena Andjelkovic Dr. Katarina Petrovic
		6	DESIGN AND OPTIMIZATION OF BRIDGE STRUCTURES USING MODERN COMPUTATIONAL APPROACHES	Dr. Vuk Stevanovic
		7	NOVEL WASTEWATER TREATMENT SOLUTIONS: IMPLEMENTATION IN EGYPTIAN INDUSTRIAL FACILITIES	Rania Mahmoud Assis. Prof. Dr. Ahmed Said Prof. Dr. Yasmine Hassan
			APPLICATION OF SOLAR THERMAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN EGYPT	Dr. Mohamed El-Sayed Fatma Ismail Assis. Prof. Dr. Tarek Ghaly
			ENERGY-EFFICIENT URBAN TRANSPORT SYSTEMS: PLANNING AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EGYPTIAN CITIES	Dr. Layla Fathi Assis. Prof. Dr. Omar Gaber

ACADEMY GLOBAL FAR EAST ASIA 5th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES Nov 7 - 9, 2025 Bali Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 7 Kasım / November 7, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Yasmine Elbia Dr. Mohamed Khalil	1	HEALTHCARE ACCESSIBILITY CHALLENGES IN RURAL POPULATIONS: A COMPARATIVE STUDY FROM GERMANY	Prof. Dr. Markus Schneider Assis. Prof. Dr. Julia Weber
		2	IMPACT OF DIGITAL HEALTH TECHNOLOGIES ON CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN URBAN CLINICS	Dr. Sabine Keller Assis. Prof. Dr. Leonard Baum
		3	PREVALENCE AND RISK FACTORS OF MALNUTRITION AMONG SCHOOL-AGE CHILDREN IN ASMARA	Dr. Selam Tesfay Mebratu Berhane
		4	MATERNAL HEALTH OUTCOMES AFTER COMMUNITY-BASED EDUCATION INTERVENTIONS IN ASMARA	Assoc. Prof. Dr. Abeba Tsehaye Dr. Semhar Fissehatsion
		5	CARDIOVASCULAR DISEASES IN ADULT MALE POPULATION: EPIDEMIOLOGICAL TRENDS IN SERBIA	Dr. Nikola Jovanovic Dr. Milena Petrovic
		6	VALIDATION OF TELEMEDICINE PRACTICES IN PRIMARY CARE SETTINGS	Dr. Danijela Markovic Assis. Prof. Dr. Stefan Cvetkovic
		7	VACCINATION COVERAGE AND CHILDHOOD INFECTION RATES IN TBILISI SCHOOLS	Dr. Tamar Gvaramadze Assis. Prof. Dr. Giorgi Beridze
		8	BARRIERS TO WOMEN'S CANCER SCREENING PARTICIPATION IN CAIRO	Assoc. Prof. Dr. Maha Fathy Dr. Nour El-Din Hassan Prof. Dr. Yasmine Elbia Dr. Mohamed Khalil Assis. Prof. Dr. Salma Bakr

Contents

VACCINE HESITANCY	1
SUCCESSFUL AGING IN RURAL ELDERLY PEOPLE	12
THE ROLE OF RUNX2 IN CANCER DEVELOPMENT	21
THE PI3K/AKT SIGNALING PATHWAY AND ITS IMPORTANCE IN CANCER.....	24
YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZİ UYGULAMALARI: DENGİ PERFORMANSININ GELİŞİMİ	27
YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZLERİNİN FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	33
MOBİLYA BAĞLAMINDA HABER İÇERİKLERİNİN WEB MADENCİLİĞİYLE ÇÖZÜMLENMESİ: HABER ARAMASI ÖRNEĞİ	40
TÜKETİCİLERİN MOBİLYA İADE NEDENLERİNİN KARAR AĞACI MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	47
YOLOV11 TABANLI CNN VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ MİMARİLERİ İLE KEMİK YAŞI TAHMİNİ	57
EEG SİNYALLERİNDEN EPİLEPSİ TESPİTİ İÇİN CWT-CNN VE TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI	72
KALP HASTALIĞI TAHMİNİNDE KAN VE DİĞER MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ	84
NEW LOMAX-WEİBULL DAĞILIMI İÇİN PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	95
MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARIYLA POLİKİSTİK OVER SENDROMUNUN TANISAL SINIFLANDIRILMASI	104
EFFICIENTNET-B7 İLE MEME KANSERİ HİSTOPATOLOJİK GÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	114
HAQ DAĞILIMI İÇİN EN ÇOK OLABİLİRLİK TAHMİN EDİCİLERİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİNE DAYALI ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ	123
DUS DÖNÜŞÜM TEKNİĞİNE DAYALI YENİ BİR YAŞAM SÜRESİ DAĞILIMININ İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PARAMETRE TAHMİNİ	131
MECHANICAL PROPERTIES AND AUXETIC BEHAVIOR OF HONEYCOMB CORE SANDWICH NANOPATES	139
MODELING AND MECHANICAL EVALUATION OF AUXETIC-CORE SMART SANDWICH PLATES VIA HIGH- ORDER SHEAR DEFORMATION THEORY	147
ANALYSIS OF CLEAN ENERGY SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION.....	154
EXAMINATION OF THE CHARGING INFRASTRUCTURE OF ELECTRIC MEDIUM AND HEAVY DUTY VEHICLES.....	163
ÇOK KADEMELİ ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN ALNiCo ESASLI ALAŞIMLARDA MANYETİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	174
AlFeNiCoMn YÜKSEK ENTROPİLİ ALAŞIM TOZLARINDA ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN MİKROYAPISAL İYİLEŞMEYE ETKİSİ	183
ZERCONID MITES (ACARI: ZERCONIDAE) RECORDED FROM THE CENTRAL ANATOLIA REGION OF TÜRKİYE	192
FIRST FINDING OF DEUTONYMPH SPECIMENS OF <i>PROZERCON CELALİ</i> (ACARI: ZERCONIDAE)	201
BİTKİ PATOJEN MİKROORGANİZMALARIN TEŞHİSİNDE CRISPR/Cas UYGULAMALARI	209

CARBON-DOPED TiO ₂ FOR THE ENHANCED PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF CIPROFLOXACIN	217
THE PREDICTED TOXICITY STUDY OF FOUR SELECTED VAT DYES.....	222
THE EVALUATION OF FLOWER YIELD IN SOME SAFFLOWER (<i>CARTHAMUS TINCTORIUS</i> L.) CULTIVARS GROWN IN SEMI-ARID CONDITIONS.....	226
İNEK SÜTÜNDE GÜNCEL, UYGULANABİLİR VE YÜKSEK HASSASİYETLİ ICP-MS YÖNTEMİ İLE ELEMENT ANALİZİ	232
KOYUN VE EŞEK SÜTLERİNDE TİTANYUM VE KALSİYUM KONSANTRASYONLARININ ICP- MS İLE ANALİZİ	239
TÜRKİYE'NİN TEMİZ ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	245
RENEWABLE AND SUSTAINABLE AGRO-INDUSTRIAL WASTE APPROACH.....	255
SENSOR-BASED AUTOMATIC AGRICULTURAL SPRAYING SYSTEM FOR COMBATING OLIVE FLY AND MEDITERRANEAN FRUIT FLY	267
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A FLOWMETER CONTROLLER FOR USE IN AGRICULTURAL SPRAYING WITH ARM-BASED STM32F103VCT6	273
FABRICATION AND ADVANCED PHOTODIODE APPLICATIONS OF AN Au/PbO ₂ /p-Si/Al METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR (MOS) DIODE.....	279
FABRICATION AND INVESTIGATION OF THE PHOTODIODE PROPERTIES OF AN Au/CRYSTAL VIOLET/p-Si/Al HYBRID SCHOTTKY DIODE.....	287
SOĞUK İKLİMLERDE SERA ISITMASINDA TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ ENERJİ VE EKSERJİ PERFORMANSI	295
GEMİ EGZOZ ISISININ SOĞUTMA AMAÇLI YENİDEN KULLANIMI: KARIŞIM AKIŞKANLI ŞAFT BAĞLI RANKINE-SIKIŞTIRMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	303
BAZALT TAŞI KESİM ATIĞI VE SİLİS DUMANI ESASLI GEOPOLİMER HARÇLARDA KİREÇ İLAVESİNİN ERKEN YAŞ DAYANIM GELİŞİMİNE ETKİSİ	313
İNCE ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZA ESASLI GEOPOLİMER KARIŞIMLARDA AKTİVATÖR İLAVE SIRASININ ERKEN YAŞ DAYANIM VE İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	319
INFLUENCE OF BUILDING HEIGHT ON THE SEISMIC RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES	325
POST-EARTHQUAKE DAMAGE ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS.....	332
DOĞU KAYINI ODUNUNDA FARKLI ÖZELLİKLERDE HAZIRLANMIŞ AHŞAP KORUYUCU YAĞLARININ KULLANMASI.....	339
ALTIN OTU ÇİÇEĞİ (<i>HELICHRYSUM ARENARIUM</i>) BİTKİSİ EKSTRAKTI VE ŞAP İLE BOYANMIŞ SARIÇAM ODUNUNDA RENK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE MORDAN MADDESİ MİKTARININ ETKİLERİ.....	345
SİSTEMATİK TASARIM UYGULAMASINDA ŞARTNAME OLUŞTURMA: KURAMSAL ÇERÇEVE, METODOLOJİ VE UYGULAMA ÖNERİLERİ	354
STABILITY STUDY OF METHEMOGLOBIN IN STORED BLOOD SAMPLE.....	356
NOVEL CATALYTIC MATERIALS FOR ENHANCED HYDROGEN PRODUCTION	357
APPLICATION OF GREEN SYNTHESIS TECHNIQUES IN THE PREPARATION OF ORGANIC COMPOUNDS	358
MOLECULAR MODELING AND SIMULATION OF ENZYME ACTIVITY IN BIOCHEMICAL PROCESSES	359
ELECTROCHEMICAL METHODS FOR POLYMER MODIFICATION IN INDUSTRIAL CHEMISTRY	360



ADVANCES IN NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION.....	361
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE METAL COMPLEXES FOR MEDICINAL CHEMISTRY	362
PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS OF METAL OXIDES IN SOLAR ENERGY CONVERSION	363
CHEMICAL KINETICS OF NOVEL ORGANIC REACTIONS UNDER MICROWAVE IRRADIATION.....	364
EFFICIENT POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR SMART GRID SYSTEMS	365
DEEP LEARNING METHODS FOR AUTOMATED FAULT DETECTION IN INDUSTRIAL ELECTRONICS.....	366
OPTIMIZATION OF SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS.....	367
AI-ENABLED IOT DEVICES FOR REMOTE HEALTHCARE MONITORING	368
HIGH-PERFORMANCE EMBEDDED SYSTEMS FOR AUTONOMOUS ROBOTICS.....	369
NANOTECHNOLOGY APPROACHES TO FLEXIBLE ELECTRONIC DEVICES	370
ROBUST WIRELESS COMMUNICATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION.....	371
INTEGRATED CIRCUIT DESIGN FOR ENERGY-EFFICIENT COMPUTING	372
EPIDEMIOLOGICAL TRENDS IN CARDIOVASCULAR DISEASES AMONG ADULTS.....	373
MOLECULAR DIAGNOSTICS FOR EARLY DETECTION OF BREAST CANCER	374
IMPACT OF HEPATITIS PREVENTION PROGRAMS ON COMMUNITY HEALTH.....	375
REHABILITATION STRATEGIES FOR TRAUMATIC BRAIN INJURY PATIENTS.....	376
TRENDS IN OBESITY AND NUTRITIONAL STATUS OF SCHOOLCHILDREN	377
TELEHEALTH SOLUTIONS FOR CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN RURAL COMMUNITIES	378
PREVALENCE AND TREATMENT OUTCOMES OF TYPE 2 DIABETES IN URBAN ADULTS.....	379
MENTAL HEALTH INTERVENTIONS FOR ADOLESCENTS IN SCHOOL SETTINGS.....	380
EVALUATION OF IMMUNIZATION COVERAGE AND VACCINE HESITANCY IN PEDIATRIC POPULATIONS	381
ADVANCED CHARACTERIZATION OF METAL MATRIX COMPOSITES FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS	382
IN DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE CERAMIC COATINGS FOR THERMAL BARRIER SYSTEMS	383
INFLUENCE OF NANOSTRUCTURED SURFACES ON BIOCOMPATIBILITY OF MEDICAL IMPLANTS.....	384
MICROMECHANICAL ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS UNDER CYCLIC LOADING	385
OPTIMIZING ADDITIVE MANUFACTURING PARAMETERS FOR TITANIUM ALLOYS.....	386
IN SITU MONITORING OF PHASE TRANSFORMATIONS DURING HEAT TREATMENT OF ALUMINUM ALLOYS	387
EFFECTS OF REINFORCEMENT TYPOLOGY ON POLYMER COMPOSITE STRENGTH.....	388
NOVEL SYNTHESIS ROUTES FOR METAL-OXIDE NANOPARTICLES IN CATALYSIS.....	389
EFFECTS OF DIETARY VITAMINS ON REPRODUCTIVE HEALTH IN DAIRY CATTLE.....	390
MOLECULAR DIAGNOSTICS IN INFECTIOUS DISEASES OF FARM ANIMALS	391
PREVALENCE AND CONTROL OF PARASITIC INFECTIONS IN LIVESTOCK OF OMAN.....	392
RESPIRATORY DISEASE MONITORING IN CAMELS: RECENT ADVANCES	393
NANOTECHNOLOGY IN VETERINARY DRUG DELIVERY SYSTEMS IN INDIA	394



GENOMIC SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN POULTRY	395
ZOONOTIC DISEASE SURVEILLANCE AND EPIDEMIOLOGY IN GEORGIA	396
ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP STRATEGIES IN VETERINARY HOSPITALS	397
NOVEL APPROACHES TO ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN PHARMACEUTICAL THERAPIES.....	398
NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR ENHANCED DRUG BIOAVAILABILITY	399
HERBAL MEDICINE FORMULATION AND STANDARDIZATION IN MODERN PHARMACY	400
INNOVATIVE VACCINE DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EMERGING DISEASES	401
PHARMACOGENOMICS AND ITS IMPACT ON CHRONIC DISEASE MANAGEMENT	402
ADVANCES IN BIOINFORMATICS FOR PHARMACEUTICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT	403
QUALITY CONTROL STRATEGIES FOR GENERIC MEDICINES IN REGIONAL PHARMACEUTICAL INDUSTRY	404
ADVANCED MATERIALS CHARACTERIZATION FOR NEXT-GENERATION ENGINEERING APPLICATIONS .	405
AUTOMATED CONTROL SYSTEM DESIGN IN SMART MANUFACTURING PROCESSES: OPTIMIZATION AND IMPLEMENTATION	406
STRUCTURAL ANALYSIS AND SEISMIC PERFORMANCE OF URBAN INFRASTRUCTURES IN ERITREA.....	407
RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ERITREAN POWER GRIDS ..	408
HIGH-PERFORMANCE POLYMER COMPOSITES FOR ADVANCED SERBIAN AUTOMOTIVE SYSTEMS.....	409
DESIGN AND OPTIMIZATION OF BRIDGE STRUCTURES USING MODERN COMPUTATIONAL APPROACHES	410
NOVEL WASTEWATER TREATMENT SOLUTIONS: IMPLEMENTATION IN EGYPTIAN INDUSTRIAL FACILITIES	411
APPLICATION OF SOLAR THERMAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN EGYPT.....	412
ENERGY-EFFICIENT URBAN TRANSPORT SYSTEMS: PLANNING AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EGYPTIAN CITIES	413
MOLECULAR MODELING AND SIMULATION OF ENZYME ACTIVITY IN BIOCHEMICAL PROCESSES	414
ELECTROCHEMICAL METHODS FOR POLYMER MODIFICATION IN INDUSTRIAL CHEMISTRY	415
ADVANCES IN NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION.....	416
SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE METAL COMPLEXES FOR MEDICINAL CHEMISTRY	417
PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS OF METAL OXIDES IN SOLAR ENERGY CONVERSION	418
CHEMICAL KINETICS OF NOVEL ORGANIC REACTIONS UNDER MICROWAVE IRRADIATION.....	419



VACCINE HESITANCY

Prof. Dr. Behice ERCİ

İnönü Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, behice.erci@inonu.edu.tr

ID: 0000-0002-1527-2207

ABSTRACT

The purpose of this study is to highlight the increasing vaccine hesitancy globally and in our country. English-language articles were searched for published articles on the topic using the terms "vaccine hesitancy," "vaccine hesitancy," "vaccine refusal," and "vaccine distrust" in online databases (PubMed, Medline, Web of Science, Wiley, Science Direct, Sage Publication). Articles were evaluated according to the selection criteria. Initially, duplicate records not specifically related to the research topic were eliminated. Then, titles, abstracts, and full texts of the articles were read. This activity completed the article selection process by assessing the relevance of the identified records and whether they met the research objectives. Data on the study design and results were collected for vaccine hesitancy and resistance.

Vaccination resistance is a threat to immunization. Failure to achieve herd immunity will lead to renewed outbreaks of vaccine-preventable diseases, harming society as a whole, especially the most vulnerable. Therefore, vaccine resistance, vaccine refusal, and vaccine hesitancy must be addressed seriously. However, the negative effects experienced in the context of vaccination are not just isolated, isolated incidents. It is known that the shift towards traditional, alternative, and complementary health practices (GATSU) is also a gradual increase in vaccine hesitancy and refusal. Vaccination is a shared value of humanity. This value must be preserved and developed.

Keywords: Vaccination, vaccine hesitancy, influencing factors

AŞI TEREDDÜDÜ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, küresel ve ülkemizde artan aşı tereddüdü konusuna ışık tutmaktır. İngilizce makaleler, çevrimiçi veri tabanlarında (PubMed, Medline, Web of Science, Wiley, Science Direct, Sage Publication) "aşı tereddüdü", "aşı reddi" ve "aşı güvensizliği" terimleri

kullanılarak konuyla ilgili yayınlanmış makaleler için taranmıştır. Makaleler, seçim kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Başlangıçta, araştırma konusuyla doğrudan ilgili olmayan mükerrer kayıtlar elenmiştir. Ardından, makalelerin başlıkları, özetleri ve tam metinleri okunmuştur. Bu etkinlik, tespit edilen kayıtların uygunluğunu ve araştırma hedeflerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirerek makale seçim sürecini tamamlamıştır. Çalışma tasarımı ve sonuçlarına ilişkin veriler, aşı tereddüdü ve direnci açısından toplanmıştır.

Aşı direnci, aşılama için bir tehdittir. Sürü bağışıklığının sağlanamaması, aşıyla önlenabilir hastalıkların yeniden salgın haline gelmesine yol açarak, özellikle en savunmasız olanlar olmak üzere tüm topluma zarar verecektir. Bu nedenle aşı direnci, aşı reddi ve aşı tereddüdü ciddiyle ele alınmalıdır. Ancak aşılama bağlamında yaşanan olumsuz etkiler sadece münferit olaylar değildir. Geleneksel, alternatif ve tamamlayıcı sağlık uygulamalarına (GATSU) geçişin, aşı tereddüdü ve reddinde de kademeli bir artışa yol açtığı bilinmektedir. Aşılama, insanlığın ortak bir değeridir. Bu değerın korunması ve geliştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aşı tereddüdü, aşı kararsızlığı, aşı reddi

GİRİŞ

Aşı karşıtlığı, herhangi bir aşıyı bilerek ve isteyerek geciktirmekten başlayıp, aşılardan tümünü reddetmeye kadar tüm durumları içeren geniş bir tanımdır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre aşı tereddüdü, aşıya ulaşım mümkün olduğu halde bazı aşılardan yapılmasına izin vermeme ya da yapılmasını geciktirme durumudur. Aşı reddi ise aşılardan tümünü yaptırmama durumudur (Gür, 2019). Aşı konusunda tereddütlü kişiler önerilen tüm aşılardan zamanında kabul edebilir, ancak aşı yapma konusunda ciddi şüpheleri vardır. Bu tereddütlü tutumlar yaygındır ve dünya çapında artmaktadır. Bunun en sık belirtilen nedeni güvenlik kaygılarıdır (Dubé 2015; MacDonald, 2015). Bilgi ve farkındalık eksikliği, medya etkisi, dini inançlar, aşılama programında fazla aşı olması ve aşı içeriğine güvensizlik aşı konusunda tereddüt eden ebeveynler tarafından dile getirilen endişeler ve zorluklardır (Yaqub, 2014).

Bağışıklama programları ile önlenabilir bulaşıcı hastalıkları engellemek, morbidite ve mortalitenin azaltılması amaçlanmaktadır. 1963 yılında kızamık aşısı bulunmadan önce, sadece kızamık hastalığından, çoğunluğu çocuk olmak üzere her yıl 2,6 milyon insanın öldüğü tahminen edilmektedir, 2021'de bu sayı 128 bine 22 düşmüştür. Bu sayı önlenabilir hastalıklar açısından hala çok yüksek olsa da aşılama ile birlikte kızamık hastalığına bağlı ölümlerde dikkate değer bir düşüş yaşanmıştır. UNICEF'in 2023 yılında yayınladığı bir rapora göre; aşılardan

dünyada her yıl 4,4 milyon ölümü engellemektedir. Eğer 2030 yılına kadar aşılama hedeflerine ulaşırsa bu rakamın 5,8 milyona ulaşacağı hesaplanmaktadır (UNICEF, 2023).

Aşıların etkinliği ve güvenliğine dair çok sayıda kanıt olmasına rağmen, giderek artan sayıda aşı tereddüdü ve aşı karşıtlığı yaşanmaktadır (Ryan, 2019). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) de 2019 yılında aşı tereddüdünü, küresel sağlığa yönelik önde gelen 23 on tehditte biri olarak adlandırmıştır ve aşı tereddüdüne sebep olan itici güçlerin aşılarla erişimdeki güçlük ve aşılarla karşı var olan güven eksikliği olduğunu belirtmiştir (World Health Organization, 2021).

Kendileri veya çocukları için aşıları geciktiren veya reddeden kişiler, aşılama açığını kapatmaya çalışan ülkeler için giderek artan bir zorluk oluşturmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, dünya genelinde her 5 çocuktan 1'i hâlâ rutin hayat kurtarıcı aşıları yaptırmıyor ve her yıl tahmini 1,5 milyon çocuk, hâlihazırda mevcut aşılarla önlenebilecek hastalıklardan ölüyor.

"Aşılar ancak kullanıldıklarında sağlığı iyileştirebilir ve ölümleri önleyebilir ve bağışıklama programları yüksek aşı alım oranlarına ulaşabilmeli ve bu oranları sürdürebilmelidir. Aşı tereddüdü, ülke aşılama programları için giderek daha önemli bir sorun haline geliyor," diyor DSÖ.

Dünyada ve Türkiye’de Mevcut Durum

Son yıllarda bazı DSÖ bölgelerinde aşılama oranlarının düştüğü görülmektedir. DSÖ Amerika Bölgesi’ndeki ülkelerde kızamık aşısının 1. dozunun uygulanma oranı 2018 yılında %91 iken, 2019 ve 2020 yıllarında sırasıyla %87 ve %85’e gerilemiştir. Güneydoğu Asya Bölgesi’ndeki ülkelerde 2018 yılında kızamık aşısının 1. dozu %93 oranında uygulanmışken, 2020 yılında bu oranın %88’e düştüğü görülmektedir (World Health Organization, 2021).

Aşılama oranlarının düşüşünde, aşıya erişimde yaşanan güçlüklerin yanı sıra aşı reddi ve tereddüdünün de önemli bir payı vardır. Dünyadaki ülkelerin yaklaşık %90’ında farklı oranlarda olmakla birlikte aşı tereddüdü rapor edilmiştir (Lane, 2018).

ABD’de 2019 yılında yapılan bir çalışmada, çalışmaya dahil edilen ebeveynlerin %6,1’inin rutin çocukluk çağı aşılarına, %25’inin ise grip aşısına yönelik aşı tereddüdü olduğu bildirilmiştir. Çocukluk çağı aşılarına yönelik tereddüt öncelikle güvenlik endişelerinden kaynaklanırken, grip aşısına yönelik tereddüdün düşük aşı etkinliğine ilişkin endişelerden kaynaklandığı gösterilmiştir (Kempe, 2020).

İtalya’da 2017 yılında 3865 ailenin dahil edildiği bir çalışmada ise, çalışmaya dahil edilen ailelerin %32’sinin çocukluk çağı aşılarna yönelik tereddütlü olduğu, %3,6’sının da tüm aşılari reddettiğı belirtilmiştir. Aşılama kararını daha çok erkek bireyin verdiği ailelerde, aşı reddi ve aşı tereddüdü oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Anne-babanın eğitim seviyesinin düşüklüğü de daha yüksek aşı reddi oranları ile ilişkilendirilmiştir (Bertoncello, 2020).

Türkiye’de çocuklarına aşı yaptırmayı reddeden aile sayısı 2011’de sadece 183 iken, 2017 yılında 23 binin üzerine çıktığı görülmektedir (Gür, 2019). 2011-2014 yılları arasında aşı reddi nedeni ile aşısı yapılmadığı tespit edilen çocuklar en çok 0 yaş grubunda, en az 10-15 yaş grubunda bulunmaktadır. Vakalar en çok Güneydoğu Anadolu ve Karadeniz Bölgesinde görülmekle birlikte tüm bölgelerde kaydedilmiştir (Ceyhan, 2017).

Türkiye’de 2016 yılında yapılan bir çalışmada, çalışmaya dahil edilenlerin yaklaşık %6’sı aşı karşıtı olduğunu ifade etmiştir. Aşılarla ilgili bilgi edinilen kaynaklar sırasıyla; televizyon, internet, doktor olarak gösterilmiştir (Türkay, 2017).

Aşı Tereddüdüne Katkıda Bulunan Faktörler

Aşı güvenliğiyle ilgili endişeler aşı tereddüdüyle bağlantılı olabilir, ancak güvenlik endişeleri tereddüdü tetikleyebilecek birçok faktörden sadece biridir. Aşı tereddüdüne şunlar gibi başka faktörler de neden olabilir: kadınların aşılarnasının kısırlığa yol açtığı gibi mitlere dayalı olumsuz inançlar; yanlış bilgi; sağlık çalışanlarına veya sağlık sistemine duyulan güvensizlik; nüfuzlu liderlerin rolü; maliyetler; coğrafi engeller ve aşı güvenliğiyle ilgili endişeler.

Yüksek gelir grubuna sahip ülkelerde yapılan çalışmalarda aşı tereddütlüne yönelik temel nedenlerinde aşılari hakkındaki yanlış bilgi ve güven eksikliği öne plandayken; düşük ve orta gelir grubuna sahip ülkelerde aşı tereddüdünün temel nedenleri arasında yetersiz sağlık hizmetleri ve aşılarn yerine geleneksel sağlık hizmetlerinin kullanılması yer almaktadır (Ryan, 2019).

İlk olarak 2011 yılında DSÖ EURO Aşı İletişim Çalışma Grubu tarafından önerilen “3C modeli” aşı tereddüdünde rol oynayan güven (convenience), rehavet (compleceny), uygunluk (convenience) durumlarını belirlemiş ve bu 3C modelinde yer alan faktörlerin, doğrudan aşı tereddüdünde rol oynadığını belirtmiştir. 3C modelinde yer alan ilk faktör olan güven duyma; aşılarn etkinliği, aşılarn güvenirliliğı, sağlık politikacılarına ve sağlık hizmeti sunucularına duyulan güven ile ilgilidir (MacDonald, 2015; Altaş, 2023; Betsch, 2018).

Modelde yer alan ikinci faktör ise rehavet faktörüdür. Aşı tereddüdü sürecinde rol oynayan rehavet ile ifade edilmek istenen, günümüzde aşilar ile elde edilen başarılar sonucunda sanki bu hastalıkların çok zararlı olmadığı veyahut az görüldüğü bunların sonucunda da aşılamanın gereksiz ve önemsiz olduğunu düşünmeyle ortaya çıkan rahatlık halini ifade etmektedir. Aslında bu durum paradoksal bir durumdur, aşılamanın gereksiz olduğundan değil bilakis başarılarından kaynaklanmaktadır (MacDonald, 2015; Altaş, 2023; Betsch, 2018).

Ebeveynlerin Tutumunu Etkileyen Aşı Tereddüt Nedenleri

1. Sosyodemografik Özellikler

Sosyo ekonomi, yaş, ırk, eğitim düzeyi, çocuk sayısı, ikamet edilen yer, çalışma durumu gibi sosyo demografik özellikler aşı tereddüdünü etkilemektedir. Ayrıca ailenin yaşam tarzı, çocuğun bağışıklık sistemi, algılanan hastalık riskleri, aşılama ile ilgili önceki olumsuz deneyim ve sosyal çevre ebeveynlerin aşıya olan tereddüdünü etkilemektedir (Harmsen, 2013).

2. Sosyal Medya

Sosyal medya sağlık bilgileri konusunda birçok olanak sağlarken yanlış bilgileride beraberinde sunmaktadır. Facebook, Twitter, Instagram, Snapchat gibi takipçi ve gönderisi çok olan platformlar sağlıkla ilgili yanlış bilgilere maruz kalınmasına neden olabilmektedir (Hayat Oktem et al., 2023). Sosyal medyadaki görsel mesajların, insanların aşı olma niyetleriyle yalnızca COVID-19'a karşı değil, aynı zamanda diğer aşilar için de önemli ilişkileri bulunmaktadır. Son yıllarda, sosyal medya teknolojilerini kullanan aşı odaklı web sitelerinin sayısı artmaktadır (Wilson & Keelan, 2013). Bu web tabanlı kaynakların çoğu, hatalı bilgileri yaymak, tıp camiasını gözden düşürmek ve korku yaratmak için kullanılmaktadır. Sosyal medyada aşılamanın gerekli olmadığını hatta zararlı olduğunu iddia eden paylaşımların sayısı günden güne artmaktadır. Aşılamaya yönelik bu olumsuz duygular, insanların aşı olma niyetlerini etkileyebilir ve böylece aşılama oranlarında bir azalmaya yol açabilir (Etesamına & Derinpınar, 2021).

3. Aşı Güvensizliği ve Aşıların Yan Etkileri

Yapılan aşiların hafif yan etkileri bulunmaktadır. Bunlar ateş, ağrı, kızarıklık gibi yan etkilerdir. Aşı bileşenleri bazı alıcılarda anafilaksi ve ürtiker dahil lokal veya sistemik reaksiyonlara neden olabilir. Bazı olumsuz olaylar aşılama ile geçici olarak ilişkili olarak tesadüfen ortaya çıkar ve aşidan kaynaklanmaz.

Türkiye’de yapılan bir saha çalışmasında ebeveynlerin aşığı reddetmesinin en önemli sebebinin “Aşıların güvenli olduğunu düşünmeme/yan etkileri hakkında endişe sahibi olma” olduğunu ifade etmiştir (Hasar, 2021). Yapılan bir çalışmada ilaç firmalarının kazanç sağlamak amacıyla aşığı ürettiği, zararlı yan etkileri olduğunu ve ileride başka hastalıklara neden olabileceğinden kaynaklı aşığı tereddüdü görülmüştür. Aile sağlık merkezinde çalışanlarına yapılan bir çalışmada birimlerindeki ebeveynlerin çoğunluğunun aşıları yaptırırken tereddüt ettiğii ve bunun en önemli sebebinin ise aşığı içeriğine güvenmediklerini belirtmişlerdir (Yakşı, 2020).

4. Aşı İçerikleri

Aşı içeriklerinde bulunan bazı maddelerden kaynaklı ebeveynler aşığı yaparken tereddüde yol açabilmektedir. Aşı içeriğinde bulunan bu maddelerden ilki cıvadır. Cıva aşığı içeriğinde bulunduğu için aşığı yaptırmakta tereddüt eden ebeveynlerimiz bulunmaktadır. Ancak Thimerosal bir etil-cıva bileşeni olup suda eriyebilir özelliğie sahiptir ve vücuda girse bile birikmeden kısa zamanda atılır ve herhangi bir yan etki yaratmadığı kanıtlanmış (Exley, 2013).

Yine adjuvan olarak aşılar eklenen Alüminyum’un yüksek dozlarda toksik etkileri olduğu doğru, ancak aşılarla alınan alüminyum miktarı bu etkileri oluşturacak dozun altındadır. (Exley, 2013). Anne sütüyle beslenen bir bebek, doğumdan altı aylık oluncaya dek ortalama 10 mg alüminyum alıyor. Eğer formula mama ile besleniyorsa bu miktar 40mg’a kadar çıkabiliyor. Oysa aynı süre içinde aşılar yoluyla vücutuna giren alüminyum sadece 4 mg’dır. Bu miktarın yapılan çalışmalarda toksik olmadığı ortaya çıkmıştır (Arıcan, 2018).

5. Dini ve Diğer Nedenler

Dini nedenler, toplumsal olarak bakıldığında aşığı tereddüdünün en büyük etkenidir. Aşılamaya veya genel olarak ilaç kullanımına kişisel inançları nedeni ile karşı olan ebeveynler, çocuklarının geleceğini dikkate alarak kısmen aşılamayı kabul etmeye daha meyillidirler. Bazı ebeveynler ise aşılama ile önlenen hastalıkların çok yaygın olmadığına, bu nedenle çocuklarının bu hastalıklara yakalanma riskinin çok düşük olduğunu düşünmektedir (Erkekoğlu, 2020; Demir, 2021).

6. Covid-19 Salgının Ebeveynlerdeki Aşı Kararına Etkisi

Covid-19 pandemi süreci ile başlayan aşılama çalışmaları aşığı karşıtı fikirlerin gündeme getirilmesinde ve güçlenmesinde önemli bir role sahiptir (Aktsai & Başer, 2024). Yapılan çalışmalar incelendiğinde Covid-19 salgını sırasında çocukluk çağı aşığı tereddüdünün pandemi sırasında öncesine oranla arttığı, pandeminin ardından aşığı sayılarında önemli bir düşüş

yaşandığı ve çocuklara yönelik aşılama zamanlamasını etkilediğini saptanmıştır (He, 2022; Khan, 2021; Alsuhaibani & Alaqeel, 2020).

Aşı Tereddüdünün En Çok Görüldüğü Gruplar

Aşı tereddüdü, farklı demografik özelliklere sahip bireylerde çeşitli nedenlerle görülebilir. Aşı tereddüdün yaygın olduğu gruplar;

1. Düşük Eğitim Düzeyi Olanlar

Eğitim düzeyi düşük bireyler, aşıların güvenliği ve etkinliği konusunda daha fazla endişe duyabilirler. İngiltere’de yapılan bir çalışmada, eğitim seviyesi düşük olan bireylerin aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği bulunmuştur (Freeman, 2021).

2. Kadınlar

Kadınlar, aşıların yan etkileri konusunda daha fazla endişe duyabilirler. Norveç’te yapılan bir çalışmada, kadınların aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği ve bu tereddüdün özellikle yan etkilerle ilgili olduğu bulunmuştur (Skjefte al.,et , 2021).

3. Genç Yetişkinler (18–34 Yaş)

Genç yetişkinler, aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterebilirler. ABD’de yapılan bir çalışmada, 25–34 yaş arasındaki bireylerin aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği bulunmuştur (Viswanath, 2021).

4. Düşük Gelir Düzeyine Sahip Bireyler

Düşük gelir düzeyine sahip bireyler, aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterebilirler. Kanada’da yapılan bir çalışmada, düşük gelir düzeyine sahip bireylerin aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği bulunmuştur (Frank & Arim, 2020).

5. Azınlık Etnik Gruplar

Azınlık etnik gruplar, tarihsel ve yapısal eşitsizlikler nedeniyle aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterebilirler. Birleşik Krallık’ta yapılan bir çalışmada, Siyah ve Pakistanlı/Bangladeşli etnik grupların aşıya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği bulunmuştur (Robertson et al., 2021).

6. Dini İnançlar ve Komplo Teorilerine Yatkinlik

Bazı dini inançlar ve komplo teorilerine yatkınlık aşya karşı tereddüde yol açabilir. Venezuela'da yapılan bir çalışmada Protestanların aşya karşı daha fazla tereddüt gösterdiği bulunmuştur (Uscinski et al., 2020).

7. Sosyal Medya ve Dezenformasyon Etkisi

Sosyal medya ve dezenformasyon aşya karşı tereddüdü artırabilir. Özellikle COVID-19 pandemisi sırasında, yanlış bilgi ve komplo teorileri aşya karşı tereddüdü artırmıştır (Uscinski et al., 2020)

Aşı tereddüdünün Azaltılmasına Yönelik Öneriler

Etkili iletişim: Genel olarak aşı tereddüdü zamanla aşı reddine doğru ilerlemektedir.

Şeffaflık: Aşılama programının yürütücüsü aşların kullanıma girmeden önce güvenli ve etkili olduklarını net olarak ortaya koyan bilimsel araştırmaların hassas şekilde tamamlandığı, aşların uygulanmaya başlaması ile birlikte tüm yan etkilerinin takibe alındığı, ciddi yan etkilerin aşı ile nedensel ilişkinin yanı sıra aşılama programının tüm boyutlarıyla analiz edildiği, aşı içeriklerinin şeffaf olarak sürekli erişime açık şekilde paylaşıldığı anlatılmalıdır.

Sağlık haberciliği ve sağlık okuryazarlığı: Sağlık haberciliği eğitime önem verilmeli, bu kapsamda düzenli şekilde bilgilendirme faaliyetleri yürütülmeli, aşı karşıtlarının iddialarına yönelik bilimsel kanıtlar esas alınarak hazırlanan yanıtlar sağlık habercileriyle düzenli olarak paylaşılmalıdır.

Yasal düzenleme, kısıtlama ve yaptırımlar: Küresel bir sorun olarak aşı karşıtlığı konusunda, günümüzde artan uluslararası ilişkiler, seyahatler ve öğrenci trafiği gibi durumlar göz önüne alındığında yasal yaptırım ve kısıtlamalar içeren adımların atılmasına ilişkin dünya genelinde bir fikir birliği ve ortak yaklaşımın tesis edilmesi gerektiği açıktır.

Sonuç

Aşı toplumun sağlığını korumak için vazgeçilmez uygulamalardır. Aşı tereddüdü halk sağlığı için potansiyel bir tehdit oluşturduğu göz ardı edilemez. Sorunun çözülebilmesi için nedenlerinin ortaya konulması gerekmektedir. Günümüzde önemli bir neden medya araçlarının yanlış kullanımı sonucu orta çıkan bilgi kirliliğidir. Çocukluk çağı aşı uygulamasını yapan birinci basamak sağlık personelinin doğru ve uygun şekilde bilgilendirilmesi ile bu bilgiyi ebeveynlere sunabilmesi oldukça önemlidir. Aşların kullanıma girdiği yıllardan bu yana farklı gerekçelerle aşılama olgusunu karalanmakta; raslantısal nedenlerle açıklanacak bulgulara dayanarak aşları zararlı ilan edildiği görülmektedir. Sorunun çözümü sağlık okuryazarlığının

artırılması ve sağlık iletişiminin iyileştirilmesi olarak görülmektedir. Yapılacak olan doğru iletişim yöntemleri ile halkın sağlık okuryazarlığının artırılması ve öz sorumluluğun geliştirilmesi olmalıdır.

KAYNAKLAR

- Gür E. (2019). Vaccine hesitancy - vaccine refusal. *Türk Pediatr Arşivi*, 54(1):1–2.
- MacDonald NE, Eskola J, Liang X, Chaudhuri M, Dube E, Gellin B, et al. (2015). Vaccine hesitancy: Definition, scope and determinants. *Vaccine*. 33(34):4161–4.
- Dubé, E., Vivion, M., & MacDonald, N. E. (2015). Vaccine hesitancy, vaccine refusal and the anti-vaccine movement: Influence, impact and implications. *Expert Review Of Vaccines*, 14(1), 99-117.
- UNICEF. For Every Child , Vaccination. 2023. Available from: <https://www.unicef.org/media/108161/file/SOWC-2023-full-report-English.pdf>
- Ryan J, Malinga T. (2019). Interventions for vaccine hesitancy. *Curr Opin Immunol*. 71:89–91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.coi.2021.05.003>
- World Health Organization. Measles Vaccination Coverage. Erişim: <https://immunizationdata.who.int/pages/coverage/mcv.html?GROUP=WHO Regions&ANTIGEN=&YEAR=&CODE=>
- Lane S, MacDonald NE, Marti M, Dumolard L. (2018). Vaccine Hesitancy Around the Globe: Analysis of Three Years of WHO/UNICEF Joint Reporting Form Data-2015–2017. *Vaccine*. 36(26): 3861–7. DOI: 10.1016/j.vaccine.
- Kempe, A., Saville, A. W., Albertin, C., Zimet, G., Breck, A., Helmkamp, L., et al.. (2020). Parental hesitancy about routine childhood and influenza vaccinations: a national survey. *Pediatrics*, 146(1).
- Kempe A, Saville AW, Albertin C, Zimet G, Breck A, Helmkamp L, et al. (2020). Parental Hesitancy About Routine Childhood and Influenza Vaccinations: A National Survey. *Pediatrics*. 146(1): e20193852. DOI: 10.1542/peds.2019- 3852.
- Bertoncello C, Ferro A, Fonzo M, Zanovello S, Napoletano G, Russo F, et al. (2020). Socioeconomic Determinants in Vaccine Hesitancy and Vaccine Refusal in Italy. *Vaccines*. 8(2):276. DOI: 10.3390/vaccines8020276
- Ryan J, Malinga T. (2019). Interventions for vaccine hesitancy. *Curr Opin Immunol*. 71:89-91. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.coi.2024.05.00>
- Altaş ZM. (2023). Aşı Tereddüdü. In: Sirekbasan S, editor. *Temel Tıp Bilimlerinde Güncel Konular. Aşı Teredd. Lyon: Livre de Lyon. p. 43–55.*

Betsch C, Schmid P, Dorothee H, Lars K, Holtmann C, Robert B. (2018). Beyond confidence : Development of a measure assessing the 5C psychological antecedents of vaccination. PLoS One.(Study 2):1–32.

Harmsen, I. A., Mollema, L., Ruiter, R. A., Paulussen, T. G., de Melker, H. E., & Kok, G. (2013). Why parents refuse childhood vaccination: A qualitative study using online focus groups. BMC public health, 13, 1-8.

Hayat Oktem, Ö., Karaoğlu, F. N., & Kul Uçtu, A. (2023). Aşı reddi. YOBÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 4(2), 204-211.

Wilson, K., & Keelan, J. (2013). Social media and the empowering of opponents of medical technologies: The case of anti-vaccinationism. Journal of Medical Internet Research, 15(5), e103.

Etesamına, S., & Derinpınar, K. B. (2021). Aşı tereddütlerinde sosyal medyanın rolü. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 7(2), 377-390.

Hasar, M., Özer, Z. Y., & Bozdemir, N. (2021). Aşı reddi nedenleri ve aşılar hakkındaki görüşler. Cukurova Medical Journal, 46(1), 166-176.

Yakşı, N. (2020). Aile sağlığı merkezi çalışanlarının aşı reddi konusundaki düşünceleri ve davranışlarının değerlendirilmesi. Turkish Journal of Public Health, 18(3), 143-154.

Yaqub, O., Castle-Clarke, S., Sevdalis, N., & Chataway, J. (2014). Attitudes to vaccination: A critical review. Social Science & Medicine, 112, 1-11.

Exley, C. (2013). Human exposure to aluminium. Environmental Science: Processes & Impacts, 15(10), 1807-1816.

Arıcan, I. (2018). Sık rastlanan aşı karşıtı iddialara yanıtlar. Toplum ve Hekim, 33(3), 195-206.

Demir, T. (2021). Aşı karşıtı tutumların sosyokültürel ve dinî boyutları. Tevilat, 2(2), 271-291.

Aktsai, S. M. P., & Başer, D. (2024). Çocuğun yüksek yararının korunması bağlamında aşı karşıtlığı. Efe Akademi Yayınları, 1-91.

Alsuhaibani, M., & Alaqeel, A. (2020). Impact of the covid-19 pandemic on routine childhood immunization in Saudi Arabia. Vaccines, 8(4), 581.

He, K., Mack, W. J., Neely, M., Lewis, L., & Anand, V. (2022). Parental perspectives on immunizations: impact of the covid-19 pandemic on childhood vaccine hesitancy. Journal Of Community Health, 1-14.

Khan, A., Chakravarty, A., & Mahapatra, J. (2021). Impact of covid-19 pandemic on childhood immunization in a tertiary health-care center. Indian Journal of Community Medicine, 46(3), 520-523.

Frank, K., Arim, R. (2020). “Canadians’ willingness to get a COVID-19 vaccine when one becomes available: What role does trust play?” Statistics Canada Catalogue No. 45280001. No. 00043. Ottawa: Statistics Canada.



Freeman, D., Loe, B. S., Chadwick, A., Vaccari, C., Waite, F., Rosebrock, L., Jenner, L., Petit, A., Lewandowsky, S., Vanderslott, S., Innocenti, S., Larkin, M., & Lambe, S. (2021). Effects of different types of written vaccination information on COVID-19 vaccine hesitancy in the UK (OCEANS-III): a single-blind, parallel-group, randomised controlled trial. *Lancet Public Health*. 6(6): e416-e427.

Skjefte, M., Ngirbabul, M., Akeju, O., Escudero, D., Hernandez-Diaz, S., Wyszynski, D. F., & Wu, J. W. (2021). COVID-19 vaccine acceptance among pregnant women and mothers of young children: results of a survey in 16 countries. *European Journal of Epidemiology* 36(2):197-211.

Robertson, E., Reeve, K. S., Niedzwiedz, C. L., Moore, J., Blake, M., Green, M., Katikireddi, S. V., & Benzeval, M. J. (2021). Predictors of COVID-19 vaccine hesitancy in the UK household longitudinal study. *Brain, Behavior, and Immunity*, 94, 41-50.

Uscinski, J. E., Enders, A. M., Klofstad, C., Seelig, M. I., Funchion, J. R., Everett, C., Wuchty, S., Premaratne, K., & Murthi, M. (2020). Why do people believe COVID-19 conspiracy theories? *Harvard Kennedy School (HKS) Misinformation Review*.
<https://doi.org/10.37016/mr-2020-015>



SUCCESSFUL AGING IN RURAL ELDERLY PEOPLE

Prof. Dr. Behice ERCİ

İnönü Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, behice.erci@inonu.edu.tr

ID: 0000-0002-1527-2207

ABSTRACT

Aim: The study was conducted to investigate successful aging and the influencing factors among elderly individuals living in rural areas.

Method: The study was descriptive. The study was conducted between January and November 2024 in a rural area in the eastern part of the country. The study population consisted of 3576 elderly individuals aged 65 and over, 1734 females and 1842 males, registered at a Family Health Center. The sample size of the study was determined to be 610 individuals using power analysis, with a 95% confidence interval, a 0.05 error level, and an effect size of 0.2. Elderly individuals were randomly selected from the population. The study was completed with a total of 610 elderly individuals. Data were collected by the researcher through face-to-face interviews with individuals aged 65 and over registered at a Family Health Center between June and December 2024, at their homes. A personal information form and the Successful Aging Scale were used to collect data. The data collection tool took 15-20 minutes to administer for each elderly individual. **Findings:** The average successful aging score of elderly individuals was found to be 24.6 ± 9.1 . Individual characteristics were found to have an 11% impact on successful aging, with marital status, education level, perceived income, and physical activity being among the individual characteristics that individually influence aging success.

Conclusion: The successful aging scores of the elderly included in the study were found to be low, and individual characteristics influenced successful aging.

Keywords: Successful aging, individual characteristics, influencing factors, rural area

KIRSAL ALAN YAŞLILARINDA BAŞARILI YAŞLANMA

ÖZET

Amaç: Araştırma kırsal alanda yaşayan yaşlı bireylerde başarılı yaşlanma ve etki eden faktörlerin incelenmesi amacıyla yapılmıştır.

Metot: Araştırma tanımlayıcı türde yapılmıştır. Araştırma ülkenin doğusunda kırsal alanda Ocak-Kasım 2024 tarihleri arasında yapılmıştır. Araştırmanın evrenini Aile Sağlığı Merkezine kayıtlı 65 yaş ve üstü; 1734 kadın ve 1842 erkek olmak üzere toplamda 3576 yaşlı birey oluşturdu. Araştırmanın örneklem büyüklüğü güç analizi ile %95 güven aralığında, 0.05 yanılğı

düzeyinde, 0.2 etki büyüklüğünde 610 birey olarak belirlendi. Yaşlı bireyler evrenden randomize olarak seçildi. Araştırma toplam 610 yaşlı birey ile tamamlandı. Araştırma verileri Haziran- Aralık 2024 tarihleri arasında aile sağlığı merkezine kayıtlı 65 yaş üstü bireylerle evlerinde yüz yüze görüşülerek araştırmacı tarafından toplandı. Veriler toplamak için kişisel bilgi formu, Başarılı Yaşlanma Ölçeği kullanıldı. Her bir yaşlı için veri toplama aracının uygulanması 15-20 sürdü.

Bulgular: Yaşlı bireylerin başarılı yaşlanma puan ortalaması 24.6 ± 9.1 olduğu tespit edilmiştir. Bireysel özelliklerin başarılı yaşlanmaya % 11 düzeyinde etki ettiği, bireysel özelliklerden medeni durum, eğitim düzeyi, gelir algı düzeyi ve fiziksel aktivitenin bireysel olarak başarılı yaşlanmayı etkilediği saptanmıştır.

Sonuç: sonuç olarak araştırmaya alınan yaşlıların başarılı yaşlanma düzeylerinin düşük olduğu, bireysel özelliklerin başarılı yaşlanmaya etki ettiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Başarılı yaşlanma, bireysel özellikler, etkili faktörler, kırsal alan

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler dünya nüfus tahminlerine göre 2024 yılı için dünya nüfusunun 8 milyar 161 milyon 972 bin 573 kişi, yaşlı nüfusun ise 833 milyon 480 bin 764 kişi olduğu tahmin edildi. Bu tahminlere göre dünya nüfusunun %10,2'sini yaşlı nüfus oluşturdu. En yüksek yaşlı nüfus oranına sahip ilk üç ülke sırasıyla %36,2 ile Monako, %29,8 ile Japonya ve %24,6 ile İtalya oldu. Türkiye, 194 ülke arasında 75. sırada yer aldı (TÜİK, 2025).

TÜİK nüfus tahminlerine göre yaşlı nüfus oranının 2030 yılında %13,5, 2040 yılında %17,9, 2060 yılında %27,0, 2080 yılında %33,4 ve 2100 yılında %33,6 olacağı öngörülmektedir.(TÜİK) Türkiye’de yaşlı nüfusun değişim oranlarına bakıldığında diğer yaş gruplarına göre daha hızlı artış göstermektedir (TÜİK, 2025). Ülkemizde doğum ve ölüm hızlarındaki düşüş, sağlık sektöründe meydana gelen son gelişmeler, yaşam kalitesinin, refah düzeyinin ve doğumda tahmin edilen yaşam süresinin artması ile nüfusun yaş yapısı şekil değiştirmiş, çocuk ve ergen oranı azalırken yaşlıların nüfus içindeki oranı yükselmiştir (TÜİK, 2025). Ülkemiz yaşlı nüfus yapısına sahip ülkelere göre hala genç bir nüfus yapısına sahip olsa da, yaşlanmakta olan bir ülkedir (TÜİK, 2025).

Nüfusun yaşlanması nedeniyle dünya, artan sağlık hizmetleri karmaşıklığı ve talebi, tıbbi maliyetler ve yük ve daralan iş gücü gibi zorluklarla karşı karşıyadır (Chen, 2019). Başarılı yaşlanma, 1950’lerde ortaya çıkan ve 1980’lerde popüler hale gelen bir kavramdır. Başarılı yaşlanma, hastalık ve sakatlıktan kurtulma, yüksek bilişsel ve fiziksel işlevsellik ve sosyal ve üretken katılım olarak tanımlanır (Baltes & Baltes, 1990; Rowe & Kahn, 1987). Başarılı yaşlanma nüfusun yaşlanmasının sağlık sistemleri, finansal güvenlik ve iş gücü üzerinde oluşturduğu temel yüklere bir çözüm olabilir (Lee et al., 2020). Uzun bir yaşam süresi, başkalarına bağımlılığı artırabilir ve yaşam kalitesini düşürebilir; bu nedenle SA oldukça arzu edilir (Delle et al., 2018). Sağlıklı yaşlanma, sosyo demografik faktörler (yaş, cinsiyet, eğitim ve ekonomik durum) ve yaşam tarzı alışkanlıkları (uyku, egzersiz ve beslenme) ile çevresel faktörlerle ilişkilidir (Blanco-Molina et al., 2019; Foscolou et al., 2020; Gutierrez et al., 2018). Yaşlı yetişkinlere daha iyi sağlık ve yaşam kalitesi sağlamak için yalnızca uygun bir tıbbi ortam değil, aynı zamanda kişisel yaşamlarının her alanında onları destekleyecek ve karar alma süreçlerindeki geniş sosyal etkiyi ele alacak uygun politika ve programların geliştirilmesi de

gerekmektedir (Henning-Smith, 2020). Yaşama bağlı yaşlılığı değerlendiren önceki çalışmalar çoğunlukla kentsel nüfusa veya huzurevlerine odaklanmış ve birkaç çalışma, kentsel ve kırsal alanlardaki yaşlı bireyleri aynı anda aynı araçlarla karşılaştırmıştır. Kentsel ve kırsal alanlar arasındaki önemli sosyoekonomik ve yaşam tarzı farklılıkları nedeniyle, çevresel faktörlerin iki alan arasında farklı olma olasılığı vardır. Kırsal kesimdeki yaşlı yetişkinler, kırsal alanlardaki kötü sağlık koşulları nedeniyle yetersiz sağlık hizmeti sunumuyla karşı karşıyadır (Qu et al., 2012). Bu durum, kırsal kesimdeki yaşlı yetişkinlerin kentsel kesimdekilere kıyasla daha kötü sağlık koşullarına, daha düşük yaşam kalitesine ve daha yaygın ve ciddi ruh sağlığı sorunlarına yol açmaktadır (Dong & Simon, 2010; Tian et al., 2015; Ding et al., 2020)

Doğuştaki beklenen yaşam süresinin her yıl daha da arttığı dünya yaşam süresinin en iyi şekilde değerlendirilmesi bireyin yaşamından keyif alması, iç huzurunun olması ve daha aktif olma şansı tanıyacağı düşünülmektedir. Bu durumda başarılı yaşlanmanın ne denli önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kırsal alan birinci basamak sağlık hizmetine başvuran yaşlı bireylerdeki başarılı yaşlanmayı saptamak amacıyla yapılmıştır.

2. METOT

2.1. Araştırmanın Türü

Araştırma tanımlayıcı türde yapılmıştır. Araştırma ülkenin doğusunda kırsal alanda Ocak-Kasım 2024 tarihleri arasında yapılmıştır.

2.2. Araştırmanın Evreni ve Örneklemi

Araştırmanın evrenini Aile Sağlığı Merkezine kayıtlı 65 yaş ve üstü; 1734 kadın ve 1842 erkek olmak üzere toplamda 3576 yaşlı birey oluşturdu. Araştırmanın örneklem büyüklüğü güç analizi ile %95 güven aralığında, 0.05 yanılma düzeyinde, 0.2 etki büyüklüğünde 610 birey olarak belirlendi. Yaşlı bireyler evrenden randomize olarak seçildi. Araştırma toplam 610 yaşlı birey ile tamamlandı.

Araştırmaya Dâhil Edilme Kriterleri

İletişim problemi olmayan

İşitme ve görme problemi olmayanlar

2.3. Araştırmada Kullanılan Veri Toplama Araçları

Verilerin toplanmasında araştırmacı tarafından oluşturulan Demografik Özellikler Formu, Başarılı Yaşlanma Ölçeği kullanıldı.

Demografik Özellikler Formu

Araştırmacı tarafından oluşturulan bu form yaşlı bireylerin sosyo-demografik özelliklerini yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim düzeyi, gelir, sağlığı algılama, kronik hastalıkları, birlikte yaşadıkları, sigara ve alkol kullanma durumu, fiziksel aktiviteye ilişkin bilgileri içeren toplamda 11 sorudan oluşmaktadır.



15

Birlikte Yaşadıkları		
Eşi	296	48.5
Çocukları	74	12.1
Eşi ve çocukları	140	23.0
Yalnız	100	16.4
Kronik Hastalık Durumu		
Evet	500	82.0
Hayır	110	18.0
Fiziksel Aktivite Yapma Durumu		
Evet	345	56.6
Hayır	265	43.4
Sigara Kullanma Durumu		
Evet	115	18.9
Hayır	495	81.1
Alkol Kullanma Durumu		
Evet	32	5.3
Hayır	558	94.7
Sağlığını Algılama Durumu		
İyi	162	26.6
Orta	259	42.5
Kötü	189	31.0
Yaş	Mean: 74 ± 6.1	

Tablo 2. Başarılı Yaşlanma Ölçeğinin Puan Ortalamalarının Dağılımı

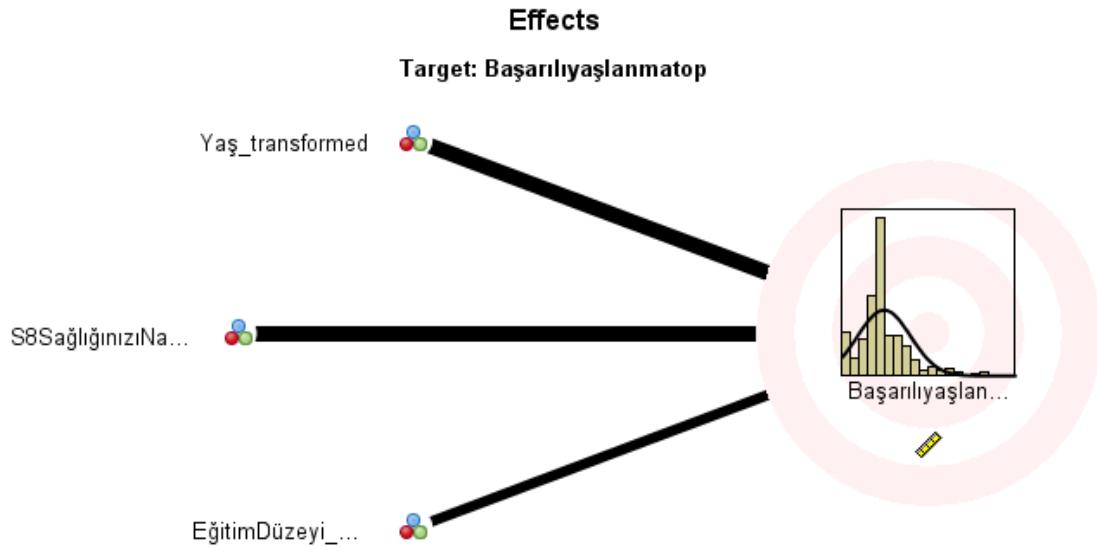
Başarılı Yaşlanma	Min	Max	X±SD
Sorunlarla Mücadele	7.0	43.0	18.1 ± 7.1
Sağlıklı Yaşlanma Biçimi	3.0	21.0	6.5 ± 2.8
Toplam Ölçek	10	64.0	24.6 ± 9.1

Yaşlı bireylerin başarılı yaşlanma puanları minimum 10.0, maksimum 64.0, puan ortalaması 24.6 ± 9.1 'dir. Bu ortalamaya göre araştırmaya katılan bireylerin başarılı yaşlanma düzeyleri düşüktür.

Tablo 3. Başarılı Yaşlanmaya Etki Eden Faktörlerin Regresyon Analizi ile Açıklanması (n:610)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
		B	Std. Error	Beta	t	
1	(Constant)	14.962	5.525		2.708	.007
	Yaş	.060	.063	.040	.954	.341
	Cinsiyet	.329	.897	.017	.366	.714
	Medeni Durum	-2.304	.978	-.113	-2.357	.019
	Eğitim Düzeyi	-1.357	.475	-.127	-2.857	.004
	Kiminle Yaşadığı	.266	.353	.034	.752	.452
	Gelir Algı Düzeyi	1.650	.689	.101	2.393	.017
	Çalışma Durumu	.389	1.137	.014	.342	.732
	Sağlık Algısı	2.102	.535	.174	3.928	.000
	Kronik Hastalık	.731	.959	.031	.762	.447
	Fiziksel Aktivite	3.550	.784	.192	4.529	.000
	Sigara Kullanma	-.687	.621	-.044	-1.106	.269
	Alkol Kullanma	-.604	1.066	-.023	-.566	.571
		R=.33	R ² =.11	F=6.31	p=.000	

a. Dependent Variable: Başarılı yaşlanma



Yapılan analizlere göre bireysel özelliklerin toplam başarılı yaşlanmayı etkilediği ve istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir ($p < 0.001$). İncelenen bu bireysel özelliklerin başarılı yaşlanmayı %11 düzeyin etkilediği ($R = .33$, $R^2 = .11$, $F = 6.31$, $p = .000$) saptanmıştır. Başarılı yaşlanmaya kişisel değişkenlerin etkisi incelendiğinde medeni durumun, eğitim düzeyinin, gelir algısının, sağlık algısının ve fiziksel aktivitenin bireysel etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Sorunlarla Mücadele Alt Boyutuna Etki Eden Faktörlerin Regresyon Analizi ile Açıklanması (n:610)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
		B	Std. Error	Beta	t	
1	(Constant)	8.659	4.272		2.027	.043
	Yaş	.067	.049	.057	1.378	.169
	Cinsiyet	.586	.691	.040	.847	.397
	Medeni Durum	-1.712	.755	-.108	-2.268	.024
	Eğitim Düzeyi	-1.238	.367	-.149	-3.373	.001
	Kiminle Yaşadığı	.154	.273	.025	.562	.574
	Gelir Algı Düzeyi	1.233	.532	.097	2.317	.021
	Çalışma Durumu	.619	.879	.029	.704	.482
	Sağlık Algısı	1.420	.412	.152	3.446	.001
	Kronik Hastalık	.570	.737	.031	.773	.440
	Fiziksel Aktivite	2.956	.604	.206	4.891	.000
	Sigara Kullanma	-.504	.481	-.042	-1.049	.294
	Alkol Kullanma	-.466	.825	-.022	-.565	.572
		R=.34	R ² =.12	F=6.86	p=.000	

a. Dependent Variable: Sorunlarla Mücadele

Tablo 4’de görüldüğü gibi bireysel özelliklerin başarılı yaşlanma alt boyutu sorunlarla mücadeleyi etkilediği ve istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). İncelenen bu bireysel özelliklerin sorunlarla mücadele alt boyutunu %12 düzeyin etkilediği ($R=.34$, $R^2=.12$, $F=6.86$, $p=.000$) saptanmıştır. Sorunlarla mücadeleye kişisel değişkenlerin etkisi incelendiğinde medeni durumun, eğitim düzeyinin, gelir algısının, sağlık algısının ve fiziksel aktivitenin bireysel etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5. Sağlıklı Yaşlanma Biçimi Alt Boyutuna Etki Eden Faktörlerin Regresyon Analizi ile Açıklanması (n:610)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		Sig.
		B	Std. Error	Beta	t	
1	(Constant)	5.977	1.733		3.448	.001
	Yaş	-.001	.020	-.003	-.063	.950
	Cinsiyet	-.338	.282	-.058	-1.198	.231
	Medeni Durum	-.655	.307	-.105	-2.131	.033
	Eğitim Düzeyi	-.104	.149	-.032	-.699	.485
	Kiminle Yaşadığı	.117	.111	.049	1.057	.291
	Gelir Algı Düzeyi	.447	.217	.089	2.061	.040
	Çalışma Durumu	-.260	.358	-.031	-.726	.468

Sağlık Algısı	.707	.168	.191	4.196	.000
Kronik Hastalık	.226	.302	.031	.750	.453
Fiziksel Aktivite	.585	.246	.103	2.374	.018
Sigara Kullanma	-.190	.196	-.040	-.972	.332
Alkol Kullanma	-.145	.336	-.018	-.433	.665
R=.25 R ² =.06 F=3.41 p=.000					

a. Dependent Variable: Sağlıklı Yaşlanma Biçimi

Tablo 5’de görüldüğü gibi bireysel özelliklerin başarılı yaşlanma alt boyutu sağlıklı yaşlanma biçimini etkilediği ve istatistiksel olarak etkili olduğu tespit edilmiştir ($p<0.001$). İncelenen bu bireysel özelliklerin sorunlarla mücadele alt boyutunu %0.6 düzeyin etkilediği ($R=.34$, $R^2=.25$, $F=3.41$, $p=.000$) saptanmıştır. Sağlıklı yaşlanma biçimine kişisel değişkenlerin etkisi incelendiğinde medeni durumun, gelir algısının, sağlık algısının ve fiziksel aktivitenin bireysel etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sonuç olarak araştırmaya katılan bireylerin başarılı yaşlanma düzeyleri düşüktür. Toplam başarılı yaşlanmaya ve alt boyutlarına bireysel değişkenlerden medeni durumun, eğitim düzeyinin, gelir algısının, sağlık algısının ve fiziksel aktivitenin etkilerinin olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKÇA

- Baltes, P. B., Baltes, M. M. (1990). Psychological perspectives on successful aging: The model of selective optimization with compensation. In: P. B. Baltes, M. M. Baltes (Eds.), *Successful aging: Perspectives from the behavioral sciences* (pp. 1–34). Cambridge University Press. DOI: 10.1017/CBO9780511665684.003.
- Blanco-Molina, M., Pinazo-Hernandis, S., & Tomas, J. M. (2019). Subjective well-being key elements of Successful Aging: A study with Lifelong Learners older adults from Costa rica and Spain. *Archives of Gerontology and Geriatrics Supplement*, 85, Article 103897.
- Chen, L. K. (2019). Integrated care for older people: Solutions to care fragmentation. *Aging Medicine and Healthcare*, 10, 94–95.
- Delle Fave, A., Bassi, M., Boccaletti, E. S., Roncaglione, C., Bernardelli, G., & Mari, D. (2018). Promoting well-being in old age: The psychological benefits of two training programs of adapted physical activity. *Frontiers in Psychology*, 9, 828.
- Ding W, Zhang Y, Zhang L, Wang Z, Yu J, 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
- Dong, X., & Simon, M. A. (2010). Health and aging in a Chinese population: urban and rural disparities. *Geriatrics & Gerontology International*, 10, 85–93.
- Foscolou, A., D’Cunha, N. M., Naumovski, N., Tyrovolas, S., Chrysoshoou, C., Rallidis, L., et al. (2020). The association between the level of adherence to the Mediterranean diet and successful aging: An analysis of the ATTICA and MEDIS (MEDiterranean Islands Study)

epidemiological studies. Archives of Gerontology and Geriatrics Supplement, 89, Article 104044.

Gutierrez, M., Tomas, J. M., & Calatayud, P. (2018). Contributions of psychosocial factors and physical activity to successful aging. The Spanish Journal of Psychology, 21, E26.

Henning-Smith, C. (2020). Strategies for promoting successful aging and well-being. Journal of Applied Gerontology : the Official Journal of the Southern Gerontological Society, 39, 231–232.

Hazer, O ve Özsungur, F. (2017). Başarılı Yaşlanma Ölçeği (BYÖ) Türkçe Versiyonu, International Journal Of Education Technology and Scientific Researches, Issue: 4, pp. (184-206).

Lee, W. J., Peng, L. N., Lin, M. H., Loh, C. H., & Chen, L. K. (2020). Determinants and indicators of successful ageing associated with mortality: A 4-year population-based study. Aging (Albany NY), 12, 2670–2679.

Qu, B., Li, X., Liu, J., & Mao, J. (2012). Analysis of the current situation regarding the aging rural population in China and proposed countermeasures. Population Health Management, 15, 181–185.

Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: Usual and successful. Science, 237, 143–149.

Tian, T., Chen, Y., Zhu, J., & Liu, P. (2015). Effect of air pollution and rural-urban difference on mental health of the elderly in China. Iranian Journal of Public Health, 44, 1084–1094.

TÜİK (2025). İstatistiklerle Yaşlılar, 2024. Haber Bülteni, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Yaslilar-2023-53710> Son Erişim Tarihi 26 Ağustos.2025.

THE ROLE OF RUNX2 IN CANCER DEVELOPMENT

Şamil ÖZTÜRK¹, İlhan ÖZDEMİR²

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Health Services, Çanakkale, Türkiye, samilzoturk16@hotmail.com

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Medicine, Department of Histology Embryology, Kahramanmaraş, Türkiye, ilhanozdemir25@yandex.com

Abstract

RUNX2, a transcription factor, plays a key role in both normal bone development and cancer progression. In the context of cancer, RUNX2 is generally considered an oncogenic (cancer-promoting) protein. Its overexpression promotes tumor growth, uncontrolled cell proliferation, and survival in many cancer types (such as prostate, breast, lung, and thyroid cancer). RUNX2's role in cancer metastasis, the spread of cancer to other parts of the body, is particularly important. It is a key factor in the spread of breast and prostate cancers to bone. It enables cancer cells to overcome tissue barriers and activate enzymes that dissolve bone tissue. Furthermore, high levels of RUNX2 may contribute to cancer cells developing resistance to chemotherapy and treatment failure. Because of this multifaceted and complex role, RUNX2 is being investigated as a potential target for cancer therapy. Inhibiting its activity or expression may lead to new and promising strategies for cancer treatment.

Keywords: Cancer, cell proliferation, tumor, RUNX2

Introduction

RUNX2, as a transcription factor, plays a crucial role in both normal cell functions and cancer development. It normally plays a critical role in bone development and osteoblast differentiation by regulating the expression of genes required for bone formation. However, in the context of cancer, the role of RUNX2 is quite complex and is thought to function as an oncogene (a gene that promotes cancer growth) in many cancer types.

Overview of the Role of RUNX2 in Cancer

Tumor Growth and Proliferation: In many cancer types (such as breast, prostate, lung, thyroid, and pancreatic cancer), overexpression of RUNX2 contributes to the uncontrolled proliferation of cancer cells and tumor growth. This may occur by triggering the activation of other genes that regulate the cell cycle and promote cell division (Lin., 2023).

Metastasis: RUNX2 increases the ability of cancer cells to metastasize (spread to other parts of the body). It plays a particularly important role in the bone metastasis of breast and prostate cancers. This is related to RUNX2's activation of enzymes that degrade the extracellular matrix, such as matrix metalloproteinases (MMPs). These enzymes facilitate the spread of cancer cells across tissue barriers (Pratap et al., 2006; Akech et al., 2010).

Chemoresistance (Chemotherapy Resistance): RUNX2 may help cancer cells develop resistance to chemotherapy drugs. This is a significant factor that complicates the treatment of aggressive cancers (Huang et al., 2025).

Cancer Stem Cellularity: RUNX2 is thought to regulate the properties of cancer stem cells. Cancer stem cells are the cells responsible for tumor recurrence and resistance to treatment. RUNX2 has been shown to reduce the success of cancer treatment by increasing the viability and proliferative potential of these cells (Komori 2020).

RUNX2 by Cancer Type

The role of RUNX2 may vary depending on the cancer type and the cell context in which it is found.

Breast and Prostate Cancer: In these cancer types, RUNX2 is a key factor in bone metastasis. Its overexpression activates genes that destroy bone tissue and facilitate tumor growth within the bone (Zhao et al., 2021).

Thyroid Cancer: Knockdown of RUNX2 (suppressing gene expression) reduced the proliferation of thyroid cancer cells, suggesting that RUNX2 also has an oncogenic role (Niu et al., 2012).

Lung Cancer: RUNX2 helps tumor survival by inhibiting apoptosis (programmed cell death) in lung cancer cells (Lee et al., 2011).

RUNX2 as a Therapeutic Target

Due to the negative roles of RUNX2 in cancer development, researchers are working on new therapeutic methods that could target this gene and its signaling pathways. Inhibiting tumor growth and metastasis by inhibiting the expression or activity of RUNX2 could be a novel therapeutic strategy, particularly for patients with bone metastases (Huang et al., 2025).

Conclusion

Consequently, RUNX2 often acts as an oncogene that promotes cancer progression, metastasis, and treatment resistance. However, research in this area is ongoing, and more studies are needed to understand exactly how RUNX2 functions and how it can be used to combat cancer.

References



- Lin, T.C. (2023). RUNX2 and Cancer. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(8), 7001.
- Niu, D. F., Kondo, T., Nakazawa, T., Oishi, N., Kawasaki, T., Mochizuki, K., Yamane, T., & Katoh, R. (2012). Transcription factor Runx2 is a regulator of epithelial-mesenchymal transition and invasion in thyroid carcinomas. *Laboratory investigation; a journal of technical methods and pathology*, 92(8), 1181–1190.
- Akech, J., Wixted, J. J., Bedard, K., van der Deen, M., Hussain, S., Guise, T. A., van Wijnen, A. J., Stein, J. L., Languino, L. R., Altieri, D. C., Pratap, J., Keller, E., Stein, G. S., & Lian, J. B. (2010). Runx2 association with progression of prostate cancer in patients: mechanisms mediating bone osteolysis and osteoblastic metastatic lesions. *Oncogene*, 29(6), 811–821.
- Pratap, J., Lian, J. B., Javed, A., Barnes, G. L., van Wijnen, A. J., Stein, J. L., & Stein, G. S. (2006). Regulatory roles of Runx2 in metastatic tumor and cancer cell interactions with bone. *Cancer metastasis reviews*, 25(4), 589–600.
- Huang J., Jia R., Guo J. (2025) RUNX2 isoform II protects cancer cells from ferroptosis and apoptosis by promoting PRDX2 expression in oral squamous cell carcinoma eLife 13, RP99122.
- Zhao, W., Yang, H., Chai, J., & Xing, L. (2021). RUNX2 as a promising therapeutic target for malignant tumors. *Cancer management and research*, 13, 2539–2548.
- Komori T. (2020). Molecular Mechanism of Runx2-Dependent Bone Development. *Molecules and cells*, 43(2), 168–175.
- Lee, J. M., Shin, J. O., Cho, K. W., Hosoya, A., Cho, S. W., Lee, Y. S., Ryoo, H. M., Bae, S. C., & Jung, H. S. (2011). Runx3 is a crucial regulator of alveolar differentiation and lung tumorigenesis in mice. *Differentiation; research in biological diversity*, 81(4), 261–268.

THE PI3K/AKT SIGNALING PATHWAY AND ITS IMPORTANCE IN CANCER

Şamil ÖZTÜRK¹, İlhan ÖZDEMİR²

¹Çanakkale Onsekiz Mart University, Vocational School of Health Services, Çanakkale, Türkiye, samilzoturk16@hotmail.com

²Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Medicine, Department of Histology Embryology, Kahramanmaraş, Türkiye, ilhanozdemir25@yandex.com

Abstract

The PI3K/Akt signaling pathway is a vital network that controls fundamental cell functions such as growth, proliferation, survival, and metabolism. Normally responsive to extracellular signals, this pathway is activated uncontrollably in cancer cells, promoting tumor formation and progression. Overactivation of the pathway causes cancer cells to proliferate rapidly and bypass programmed cell death (apoptosis). This allows the tumor to survive and maintain its size. Furthermore, the PI3K/Akt signaling pathway helps cancer cells reorganize their metabolism to meet their energy needs (Warburg effect) and contributes to the formation of new vessels (angiogenesis) that nourish the tumor. It also increases the ability of cancer cells to metastasize, facilitating their spread to other tissues. Due to this critical role, key components of the pathway, such as PI3K, Akt, and mTOR, have become important targets in cancer treatment. Drugs targeting this pathway hold promise for new treatments aimed at halting the growth and spread of cancer cells.

Keywords: Cancer, Cell Proliferation, Apoptosis, Metabolic Reprogramming, Angiogenesis

Introduction

The PI3K/Akt signaling pathway is one of the most researched and important mechanisms in cancer biology. This pathway governs fundamental cell processes such as survival, growth, proliferation, and metabolic activity. Normally activated in response to external signals such as growth factors, this pathway is persistently and uncontrollably activated in cancer cells, promoting tumor formation and progression.

The main roles of the PI3K/Akt pathway in cancer development are as follows:

Uncontrolled Cell Proliferation:

PI3K/Akt activates proteins (e.g., cyclin D1) that regulate the cell cycle and promote cell division. This leads to cancer cells ignoring the stop signals seen in normal cells and continuously proliferating.

Inhibition of Programmed Cell Death (Apoptosis):

One of the most important abilities of cancer cells is to evade apoptosis. The PI3K/Akt pathway inactivates pro-apoptotic proteins like Bad, which initiate apoptosis, while increasing the activity of anti-apoptotic proteins like Bcl-2, which promote cell survival. This causes the tumor to persist and resist treatment.

Metabolic Reprogramming:

Cancer cells require high amounts of energy to meet their rapid growth needs. The PI3K/Akt signaling pathway promotes this metabolic shift by increasing glucose uptake and aerobic glycolysis (Warburg effect). This allows cancer cells to generate the energy needed to proliferate rapidly, even in oxygenated or oxygen-free environments.

Promotion of Angiogenesis and Metastasis:

PI3K/Akt regulates angiogenesis (the formation of new blood vessels), a process vital for tumor growth and spread. This pathway increases the production of angiogenic factors such as Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF). It also promotes metastasis by making it easier for cancer cells to overcome tissue barriers and spread to distant organs.

Recent Studies

This study provides an overview of the role of the PI3K signaling pathway in cancer biology. It details the genetic and epigenetic regulation of the pathway, how it is activated in different cancer types, and its potential as a therapeutic target (Fruman et al., 2006). Another study focuses on the downstream targets of Akt and how Akt signaling regulates processes such as cell growth, proliferation, and metabolism (Manning, B. D., & Cantley, 2007; Samuels, Y., & Velculescu, 2004). This important study genetically substantiated the role of the PI3K pathway in cancer development by demonstrating that mutations in the PIK3CA gene (the gene encoding the catalytic subunit of PI3K) are common in many cancer types, particularly colorectal cancer (Vivanco, I., & Sawyers, 2002). It comprehensively describes how the PI3K/Akt pathway is activated in cancer and how this activation promotes tumorigenesis, angiogenesis, and chemotherapy resistance. These references will help you gain a deeper understanding of the complex and multifaceted role of the PI3K/Akt signaling pathway in cancer (Cantley, 2002). It examines why the PI3K/Akt pathway is such an attractive target in cancer treatment and the first therapeutic approaches targeting this pathway. It provides important insights into drug

resistance and the potential of targeted therapies (Sleiman, S., et al., 2020). It discusses how the PI3K/Akt/mTOR pathway is being used as a target for precision oncology in cancer treatment. It provides information on the use of the pathway activation as a biomarker in different cancer types (e.g., breast cancer, lung cancer) and current clinical trials (Bader, J., & Wagner, 2021).

Conclusion

The central role of the PI3K/Akt pathway in cancer has made components of this pathway important targets in cancer treatment. Drugs such as PI3K, Akt, and mTOR inhibitors appear to aim to stop the growth and survival of cancer cells by blocking this pathway.

References

- Fruman, D. A., Chiu, H., Hopkins, B. D., Bagrodia, S., Cantley, L. C., & Abraham, R. T. (2017). The PI3K Pathway in Human Disease. *Cell*, 170(4), 605–635.
- Manning, B. D., & Cantley, L. C. (2007). AKT/PKB signaling: navigating downstream. *Cell*, 129(7), 1261–1274.
- Samuels, Y., & Velculescu, V. E. (2004). Oncogenic mutations of PIK3CA in human cancers. *Cell cycle (Georgetown, Tex.)*, 3(10), 1221–1224.
- Vivanco, I., & Sawyers, C. L. (2002). The phosphatidylinositol 3-Kinase AKT pathway in human cancer. *Nature reviews. Cancer*, 2(7), 489–501.
- Cantley L. C. (2002). The phosphoinositide 3-kinase pathway. *Science (New York, N.Y.)*, 296(5573), 1655–1657.
- Sleiman, S., et al. (2020). "PI3K signaling and cell death." *Cell Death & Disease*.
- Bader, J., & Wagner, M. (2021). "The PI3K/AKT/mTOR pathway in cancer: a therapeutic target for precision oncology." *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research*.

YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZİ UYGULAMALARI: DENGİ PERFORMANSININ GELİŞİMİ

Prof. Dr., Umut CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Spor Bilimleri Fakültesi,

ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Denge diğer fiziksel uygunluk unsurları ile ilişkili olan en önemli parametrelerden biri olarak kabul görmektedir. Dengenin korunması ve geliştirilmesi özellikle yaşlılık dönemleri için en ihtiyaç duyulan gereksinimlerden biridir. Bu araştırmada yetişkinlere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin katılımcıların statik ve proprioseptif denge performansı üzerinde nasıl bir etki göstereceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya gönüllü olarak 32 birey (yaş = $46,61 \pm 7,33$) katılmıştır. Araştırma grupları randomize olarak iki gruba ayrılmıştır. Bir grup kontrol grubu, bir grup ise direnç grubu olarak isimlendirilmiştir. Kontrol grubu normal standart yaşamına devam ederken, direnç grubu ise haftada 3 gün ortalama 50-60 dakika arası süren direnç egzersizlerine katılım göstermiştir. Araştırmada ön test-son test model kullanılmıştır. Araştırma 12 hafta boyunca devam etmiştir. Araştırmada katılımcıların denge performans unsurları bilgisayar tabanlı bir cihaz kullanılarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki değişimin belirlenmesi bağımsız örneklem t-testi kullanılmıştır ve test öncesinde değişkenlere fark testi yapılmıştır. Araştırma bulgularında ise; statik denge skorlarında gruplar arası anlamlı bir fark oluşmadığı belirlenmiştir ($p > 0,05$). Ancak, proprioseptif denge skorlarındaki artışın direnç grubu lehine dramatik düzeyde anlamlı bir artış gösterdiği belirlenmiştir ($p < 0,05$). Bu noktada, yetişkin bireylere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin proprioseptif denge üzerinde olumlu etkilere sebep olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: denge, antrenman, egzersiz, kuvvet

1. GİRİŞ

Düzenli fiziksel aktivitenin, hem birey hem de toplum açısından, kısa ve uzun vadede sayısız faydası olduğu bilinmektedir. Bu faydalar arasında — ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere — ölüm oranlarının azalması (1), yaşam kalitesinin artması (2–4), bağımsızlığın korunması ve yaşlı bireylerde düşme riskinin azalması (5,6), bilişsel yetilerin gelişmesi (7,8) ve çeşitli kronik, bulaşıcı olmayan hastalıkların görülme sıklığının azalması (9,10) yer almaktadır. Bu faydaları elde etmek için en uygun fiziksel aktivite yönergelerini belirlemeye yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır (11,12). Genellikle, farklı egzersiz türlerinin bir kombinasyonu (örneğin, direnç egzersizleri, aerobik aktiviteler, esneklik çalışmaları ve denge egzersizleri) önerilmektedir (11,12).

Bu bağlamda Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), yetişkinlerin dörtte birinin anlamlı sağlık yararları sağlayacak düzeyde aktif olmadığını ve dünya genelindeki ergen nüfusun yaklaşık %80'inin yetersiz fiziksel aktivite düzeyine sahip olduğunu vurgulamaktadır (13). Nitekim, en güncel araştırmalar da benzer bir tabloyu ortaya koymaktadır (14,15).

Literatürde, farklı popülasyonlarda fiziksel aktiviteye katılımı artıran veya engelleyen faktörleri inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (16–18). Bu bulgular, uygulayıcılar ve

araştırmacılar için etkili müdahale ve antrenman programlarının tasarlanmasında önemli bilgiler sunmaktadır. Bununla birlikte, birçok bireyin düzenli ve yüksek hacimli egzersiz yapmaya isteksiz ya da motive olmaması nedeniyle, hangi egzersiz türlerinin sağlıkla ilişkili çıktılar üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu araştırmak da önemlidir.

Örneğin, direnç egzersizleri (Resistance Exercise, RE) ile denge/stabilite antrenmanları, yaşlı bireylerde fiziksel işlevin geliştirilmesi açısından önemli bileşenler olarak kabul edilmektedir (5,6). Hem kas kuvveti hem de duruş kontrolü, sportif performans (19,20) kadar günlük yaşamda verimlilik ve bağımsızlık (21) için de kritik öneme sahiptir. Eğer bu iki özelliğin biri üzerine yapılan antrenman, diğerinde de olumlu gelişim sağlıyorsa, bu durum sınırlı zaman veya motivasyona sahip bireyler için öncelikli bir egzersiz önerisi olarak değerlendirilebilir.

Denge ve postüral kontrol kapasitesinin tüm bireyler için — özellikle yaşlılarda düşme riskini azaltma (22) ve günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlığı artırma (23) açısından — kritik öneme sahip olması, denge ve stabiliteyi doğrudan hedeflemeyen alternatif müdahalelerin incelenmesini pratik ve klinik açıdan değerli kılmaktadır. Bu tür müdahaleler, genel fonksiyonelliği ve yaşam kalitesini artırabilir, bu da özellikle yoğun egzersiz yapmaya isteksiz bireyler için önem taşır. Direnç egzersizleri, sarkopeninin önlenmesinde en önemli stratejilerden biri olarak kabul edilmektedir (24). Eğer direnç egzersizleri yetişkinlerde denge üzerinde de olumlu etkiler sağlıyorsa, zamanı sınırlı bireyler için birincil egzersiz yöntemi olarak önerilebilir ve ilerleyen yaşam dönemlerinde hem sarkopeninin (24) hem de zayıf dengeyle ilişkili sorunların önlenmesine katkı sağlayabilir.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Tasarımı ve Katılımcılar

Çalışmaya başlamadan önce etik kurul onayı alınmıştır. Bu çalışma için etik onay, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan alınmıştır. Çalışma, Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür (Shrestha ve Dunn, 2019).

Üniversitede çalışan akademik ve idari personel ile Tekirdağ ilinde yaşıyıp dahil edilme kriterlerini karşılayan her birey gönüllü olarak çalışmaya katılmıştır.

Dahil edilme kriterleri şunlardı:

- 40–60 yaş aralığında olmak,
- Fiziksel olarak bağımsız olmak,
- Kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi disfonksiyonu bulunmamak,
- Çalışma başlamadan önceki son 5 ay içinde haftada birden fazla düzenli fiziksel aktiviteye katılmamış olmak.

Hariç tutulma kriterleri ise şunlardı:

- Son 6 ay içinde kronik ayak bileği instabilitesi veya alt ekstremitte kas-iskelet yaralanması geçirmiş olmak,
- Hormon replasman tedavisi almak,
- Kontrolsüz diyabet veya hipertansiyon tanısına sahip olmak.

Tüm bu koşulları sağlayan ve araştırma sürecini tamamlayan örneklem grubu, yaş ortalaması $46,61 \pm 7,33$ olan toplam 32 gönüllü bireyden oluşmuştur.

2.2. Veri Toplama

2.2.1. Araştırma modeli

Araştırma deneysel model türlerinden gerçek deneysel modeldir. Gerçek Deneme Modelleri, bilimsel değeri en yüksek araştırmalar, gerçek deneme modelleri ile yapılan araştırmalardır. Gerçek deneme modellerinin ortak özellikleri: Birden çok grup kullanılması, grupların yansız atanmasıdır. Bundan dolayı da her deneme modelinde en az bir deney, bir de kontrol grubu bulunur. Kendi içerisinde 3'e ayrılır; Ön test-Son test Kontrol Gruplu Model: Bu modelde yansız atama ile oluşturulmuş iki grup bulunur. Bunlardan biri deney, diğeri kontrol grubu olarak kullanılır. Her iki gruptan da hem deney öncesinde, hem de sonrasında ölçüm alınır. Bu modelde en önemli nokta, deney öncesi ölçümler arasında anlamlı farklar bulunması durumunda önlemler alınması gerekliliğidir (Karasar, 2013).

2.2.2. Vücut Kompozisyonu Ölçümü

Katılımcıların tüm vücut bileşimleri biyoelektrik impedans analiz (BİA) cihazı kullanılarak belirlenecektir. BİA cihazı; 8 elektrotlu, 50 kHz sabit akımla (hand to hand, foot to foot) çalışan, 5 ayrı akım dalgası ile beş ayrı bölge için (sağ ve sol kol, sağ ve sol bacak, gövde) yağ oranı, kas kütlesi ve yağsız kütle değerlerini ölçen bir cihazdır. Ölçümler, BİA cihazının çalışma prensipleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Saritaş ve ark., 2011).

2.2.3. Denge Performanslarının Ölçümü

Denge, etkileşimli bir eğitim aracı sağlayan hareketli bir platform kullanılarak değerlendirilmiştir. Kullanılan ekipman verileri gerçek zamanlı olarak kaydeden ve bunları veri dosyaları, excel dosyaları ve grafikler biçiminde kaydedebilen yenilikçi ve müdahaleci olmayan bir teknolojiye dayanmaktadır. Yukarıda açıklanan ölçüm cihazı, statik ve dinamik dengenin yanı sıra ayak bileği hareket açıklığıyla ilgili propriyoseptif dengenin test edilmesini sağlar (Liviü ve diğ. 2018).



2.2.4. Prosedür

Katılımcılar randomize olarak 2 grubu ayrılmıştır. Bu gruplar; kuvvet egzersiz grubu ve kontrol grubu olarak isimlendirilmiştir. Kuvvet egzersiz grubuna 12 hafta boyunca haftada 3 gün ortalama 1 saat bireysellik ilkesi dikkate alınarak aerobik egzersizler uygulanmıştır. Ön testlerden elde edilen veriler neticesinde egzersiz programları tasarlanmıştır. İki gruba da 12 hafta sonunda son testler uygulanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler, SPSS v.18.0 istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlenmiştir. Herhangi bir analiz yapılmadan önce, tüm veriler, Normallik açısından Shapiro-Wilk testi ile, kontrol edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, ortalama (mean) ve standart sapma (SD) olarak sunulmuştur. Değişkenler arasında farklılığın belirlenmesinde bağımsız örneklem t-testi analizi kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Tablo 1. Değişkenlerin tanımlayıcı verileri

Değişkenler	Grup	N	Ortalama	Ss
Statik denge- ön test	Kontrol	17	28,76	18,15
	Direnç	15	31,86	21,14
Statik denge- son test	Kontrol	17	40,76	17,58
	Direnç	15	46,46	15,04
Proprioseptif denge-ön test	Kontrol	17	34,52	16,80
	Direnç	15	30,26	19,19
Proprioseptif denge-son test	Kontrol	17	37,70	19,07
	Direnç	15	53,33	20,57

Tablo 2. Değişkenler arasındaki farklılığı gösteren veriler

Değişkenler	F	Sd	t	p
Statik denge-fark testi	0,020	30	-0,417	0,68
Proprioseptif denge- fark testi	0,164	30	-3,543	0,001

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Önceki çalışmalar, kuvvet ile denge arasında bir ilişki olduğunu (25,26) ve direnç egzersizlerinin (RE) denge yeteneğinde anlamlı gelişmeler sağlayabileceğini göstermiştir (27–29,31). Bu sistematik derleme, randomize kontrollü çalışmalar (RCT) temelinde güçlü kanıtlar sunarak bu bulguları desteklemektedir. Dolayısıyla, direnç egzersizleri, çeşitli engellerin (16–18) bireylerin yüksek hacimli egzersiz yapmasını zorlaştırdığı durumlarda optimal bir tercih olabilir.

Bu durum özellikle yaşlı yetişkinler için büyük önem taşımaktadır; çünkü fiziksel egzersiz, düşmeleri önleme ve bağımsızlığı sürdürme açısından yaşlı bireyler için kritik bir faktördür (5,6). Meta-analize dahil edilen testler — fonksiyonel uzanma testi (functional reach test), tek bacak üzerinde durma testi (single-leg stance) ve zamanlı kalk-yürü testi (timed-up-and-go test) — düşme riskini değerlendirmede kullanılan önemli ölçütlerdir (22,49).

Çalışmalar arasında katılımcıların başlangıç denge düzeyleri farklılık gösterse de, denge testlerindeki gelişmelerin tüm araştırmalarda tutarlı biçimde ortaya çıkması, direnç egzersizlerinin denge üzerindeki olumlu etkisini desteklemektedir. Bu sistematik derlemede gözlemlenen orta ila büyük düzeydeki tutarlı gelişmeler, direnç egzersizlerinin düşme riskini anlamlı biçimde azalttığını göstermektedir.

Nitekim, önceki araştırmalar direnç egzersizlerinin, tek başına bir müdahale olarak ya da çok bileşenli programların bir parçası olarak, düşme riskini doğrudan azalttığını göstermiştir (5). Shiotsu ve ark. (33), yaşlı bireylerde denge yeteneğinin (fonksiyonel uzanma, tek bacak üzerinde durma ve zamanlı kalk-yürü testleri ile değerlendirilen) orta şiddette direnç egzersizi sonrası geliştiğini, ancak düşük şiddette egzersizlerde benzer bir etki görülmediğini bildirmiştir. Bu nedenle, orta ve muhtemelen yüksek şiddette direnç egzersizlerinin, denge üzerindeki etkiler açısından düşük şiddette egzersizlere kıyasla daha üstün olduğu söylenebilir.

Ayrıca, son dönemde yapılan çok sayıda çalışma, hız-güç (speed-power) antrenmanlarının, yaşlı yetişkinlerin fiziksel yeterliği ve fonksiyonel kapasitesi üzerinde geleneksel kuvvet antrenmanlarına kıyasla daha güçlü olumlu etkiler yarattığını göstermektedir (50). Sonuç olarak, araştırmamızdan elde edilen bulgular neticesinde; yetişkin bireylere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin proprioseptif denge üzerinde olumlu etkilere sebep olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Ekelund, U.; Tarp, J.; Steene-Johannessen, J.; Hansen, B.H.; Jeeris, B.; Fagerland, M.W.; Whincup, P.; Diaz, K.M.; Hooker, S.P.; Chernofsky, A.; et al. Dose-response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all cause mortality: Systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ* 2019, 366, 14570. [CrossRef] [PubMed]
2. Anwer, S.; Alghadir, A.; Abu Shaphe, M.; Anwar, D. Effects of Exercise on Spinal Deformities and Quality of Life in Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis. *BioMed Res. Int.* 2015, 2015, 123848. [CrossRef] [PubMed]
3. Bullo, V.; Gobbo, S.; Vendramin, B.; Duregon, F.; Cugusi, L.; Di Blasio, A.; Bocalini, D.S.; Zaccaria, M.; Bergamin, M.; Ermolao, A. Nordic Walking Can Be Incorporated in the Exercise

Prescription to Increase Aerobic Capacity, Strength, and Quality of Life for Elderly: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Rejuvenation Res.* 2018, 21, 141–161. [CrossRef] [PubMed]

4. Gomes-Neto, M.; Durães, A.R.; dos Reis, H.F.C.; Neves, V.R.; Martinez, B.P.; Carvalho, V.O. High-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on exercise capacity and quality of life in patients with coronary artery disease: A systematic review and meta-analysis. *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2017, 24, 1696–1707. [CrossRef]

5. Cadore, E.L.; Rodríguez-Mañas, L.; Sinclair, A.; Izquierdo, M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: A systematic review. *Rejuvenation Res.* 2013, 16, 105–114. [CrossRef]

6. Tricco, A.C.; Thomas, S.M.; Veroniki, A.A.; Hamid, J.S.; Cogo, E.; Striffler, L.; Khan, P.A.; Robson, R.; Sibley, K.M.; MacDonald, H.; et al. Comparisons of interventions for preventing falls in older adults: A systematic review and meta-analysis. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* 2017, 318, 1687–1699. [CrossRef]

7. Lauenroth, A.; Ioannidis, A.E.; Teichmann, B. Influence of combined physical and cognitive training on cognition: A systematic review. *BMC Geriatr.* 2016, 16, 141. [CrossRef]

8. Li, J.W.; O'Connor, H.; O'Dwyer, N.; Orr, R. The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *J. Sci. Med. Sport* 2017, 20, 841–848. [CrossRef]

9. Palmer, M.; Sutherland, J.; Barnard, S.; Wynne, A.; Rezel, E.; Doel, A.; Grigsby-Du_y, L.; Edwards, S.; Russell, S.; Hotopf, E.; et al. The effectiveness of smoking cessation, physical activity/diet and alcohol reduction interventions delivered by mobile phones for the prevention of non-communicable diseases:

A systematic review of randomised controlled trials. *PLoS ONE* 2018, 13, e0189801. [CrossRef]

10. Wahid, A.; Manek, N.; Nichols, M.; Kelly, P.; Foster, C.; Webster, P.; Kaur, A.; Friedemann Smith, C.; Wilkins, E.; Rayner, M.; et al. Quantifying the Association Between Physical Activity and Cardiovascular Disease and Diabetes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Am. Heart Assoc.* 2016, 5, e002495. [CrossRef]

11. O'Donovan, G.; Blazeovich, A.J.; Boreham, C.; Cooper, A.R.; Crank, H.; Ekelund, U.; Fox, K.R.; Gately, P.; Giles-Corti, B.; Gill, J.M.R.; et al. The ABC of physical activity for health: A consensus statement from the British association of sport and exercise sciences. *J. Sports Sci.* 2010, 28, 573–591. [CrossRef] [PubMed]

12. Warburton, D.E.R.; Bredin, S.S.D. Reflections on Physical Activity and Health: What Should We Recommend? *Can. J. Cardiol.* 2016, 32, 495–504. [CrossRef] [PubMed]

13. WHO Physical Activity. 2018. Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physicalactivity> (accessed on 11 November 2020).

14. Guthold, R.; Stevens, G.A.; Riley, L.M.; Bull, F.C. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc. Health* 2020, 4, 23–35. [CrossRef]

15. Mengesha, M.M.; Roba, H.S.; Ayele, B.H.; Beyene, A.S. Level of physical activity among urban adults and the socio-demographic correlates: A population-based cross-sectional study using the global physical activity questionnaire. *BMC Public Health* 2019, 19, 1160. [CrossRef]

YETİŞKİNLERDE DİRENÇ EGZERSİZLERİNİN FONKSİYONEL HAREKET KAPASİTESİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Prof. Dr., Umut CANLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/Spor Bilimleri Fakültesi,

ucanli@nku.edu.tr - 0000-0001-8603-3492

ÖZET

Direnç egzersizleri her yaş grubuna kolaylıkla uygulanabilen en önemli egzersiz stratejilerinden biri olarak kabul edilmektedir. Doğru yapılandırılmış bir direnç egzersiz programı ile birlikte bireylerin hareket kapasitelerinin artabileceği düşünülmektedir. Bu araştırmada yetişkinlere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin katılımcıların fonksiyonel hareket taraması skorlarında nasıl bir değişim olacağının belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya gönüllü olarak 32 birey (yaş = $46,61 \pm 7,33$) katılmıştır. Araştırma grupları randomize olarak iki gruba ayrılmıştır. Bir grup kontrol grubu, bir grup ise direnç grubu olarak isimlendirilmiştir. Kontrol grubu normal standart yaşamına devam ederken, direnç grubu ise haftada 3 gün ortalama 50-60 dakika arası süren direnç egzersizlerine katılım göstermiştir. Araştırmada ön test-son test model kullanılmıştır. Araştırma 12 hafta boyunca devam etmiştir. Araştırmada katılımcıların fonksiyonel hareket kapasiteleri Fonksiyonel Hareket Taraması Testi (FHT) kullanılarak belirlenmiştir. Gruplar arasındaki değişimin belirlenmesi bağımsız örneklem t-testi kullanılmıştır ve test öncesinde değişkenlere fark testi yapılmıştır. Araştırma bulgularında ise; FHT skorlarında gruplar arası bir fark olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Direnç egzersizi uygulanan grubun FHT skorlarındaki artış kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde artış göstermiştir. Bu noktada, yetişkin bireylere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin fonksiyonel hareket kapasitesi üzerinde olumlu etkilere sebep olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: kuvvet, fonksiyonel hareket kabiliyeti, güç

1. GİRİŞ

Yaralanma riski, herhangi bir fiziksel aktiviteye veya spora katılım sırasında önemli bir endişe kaynağı olabilir. Özellikle kas-iskelet sistemi yaralanmaları, sportif performansın doğal bir riskidir. Sporcular arasında, temassız yaralanmalar oyunlar sırasında meydana gelen tüm yaralanmaların yaklaşık %20'sini ve antrenmanlar sırasında meydana gelen yaralanmaların %40'ını oluşturmaktadır (1). Yaralanma riskini en aza indirmek için, bireyleri yaralanmaya açık hale getiren fiziksel işlev bozukluklarını belirlemede etkili yöntemlere ve uygun yaralanma önleme programlarına ihtiyaç vardır. Çeşitli fiziksel aktiviteler sırasında yaralanma riskini değerlendirmek amacıyla, harekete dayalı birçok test geliştirilmiştir (2–5). Bunlar arasında en yaygın kullanılan değerlendirme araçlarından biri Fonksiyonel Hareket Tarama (Functional Movement Screen, FMS) testidir. Son yıllarda, FMS'nin güvenilirliği ve geçerliliği üzerine birçok araştırma yapılmıştır (6–8). FMS, yedi testten oluşur: derin çömelme, çizgi üzerinde hamle (in-line lunge), engel adımı, omuz mobilitesi, aktif düz bacak kaldırma, gövde stabilite sınavı ve rotasyonel gövde stabilitesi değerlendirmesi (2, 9). Her test 0–3 arası puanlanır ve yedi testin toplamında maksimum 21 puan elde edilebilir.

Bonazza ve ark. (6) yaptıkları meta-analizde, FMS'nin yaralanma riskini öngörme yeteneğine sahip olduğunu ve FMS puanı ≤ 14 olan sporcuların antrenman sırasında yaralanma olasılıklarının iki kat daha fazla olduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde, Bunn ve ark. (7) tarafından yapılan başka bir meta-analizde, FMS puanı ≤ 14 olan bireylerin kas-iskelet sistemi yaralanması yaşama olasılığının %51 daha fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Kiesel ve ark. (10), asimetrik hareket paternine sahip bireylerin, FMS puanları 14'ün üzerinde olsa bile, yaralanma riskinin üç kat daha fazla olduğunu rapor etmiştir.

Dysfonksiyonel hareket paternlerini yeniden eğitmek ve FMS puanlarını 14'ün üzerine çıkarmak amacıyla çeşitli müdahale programları uygulanmıştır (11–14). Koordinasyon ve nöromüsküler kontrol odaklı programların, FMS puanlarını artırmada etkili olduğu gösterilmiştir. Bodden ve ark. (15), dört haftalık nöromüsküler kontrol temelli bir FMS protokolü uygulanan deney grubunda FMS toplam puanının anlamlı biçimde 14'ün üzerine çıktığını bildirmiştir. Jafari ve ark. (16), esneklik ve nöromüsküler kontrol temelli NASM (National Academy of Sports Medicine) eğitim protokolünü sekiz hafta uyguladıkları itfaiyecilerde FMS toplam puanında anlamlı artış gözlemlemiştir.

Farklı direnç antrenmanı türlerinin FMS puanları üzerindeki etkilerini inceleyen çeşitli çalışmalar da bulunmaktadır (17–20). Son yıllarda, fonksiyonel kuvvet antrenmanı (Functional Strength Training, FST) olarak bilinen yeni bir kuvvet antrenmanı yaklaşımı, hem fitness hem de antrenman profesyonelleri arasında yaygınlık kazanmıştır. FST, birden fazla düzlemde hareketleri içeren, aynı anda birden fazla kas grubunu hedefleyen ve günlük yaşam ya da sporda görülen doğal hareket paternlerini taklit eden bir antrenman biçimidir (21, 22). Buna karşın, geleneksel kuvvet antrenmanları daha çok izole egzersizleri, makine kullanımını ve tek düzlemli hareketleri içerir.

Liao ve ark. (19), 12–13 yaş arası kızlarda FST uygulamasının, geleneksel kuvvet antrenmanına kıyasla FMS toplam puanında anlamlı derecede daha büyük artışlar sağladığını bildirmiştir. Benzer biçimde, Yıldız ve ark. (18), genç tenisçilerde FST'nin, geleneksel kuvvet antrenmanına göre hareket yeterliğini daha fazla geliştirdiğini göstermiştir. Ancak, periyodize kuvvet antrenmanının FMS puanı üzerindeki etkisini inceleyen yalnızca bir çalışma bulunmaktadır. Cosio-Lima ve ark. (20), 12 haftalık süreçte, ordu öğrencilerinde periyodize geleneksel kuvvet antrenmanı ile tipik askeri antrenman uygulayan grupların FMS puanlarındaki değişimleri karşılaştırmış ve her iki grupta da istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulmamıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Tasarımı ve Katılımcılar

Çalışmaya başlamadan önce etik kurul onayı alınmıştır. Bu çalışma için etik onay, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan alınmıştır. Çalışma, Helsinki Bildirgesi ilkelerine uygun olarak yürütülmüştür (Shrestha ve Dunn, 2019).

Üniversitede çalışan akademik ve idari personel ile Tekirdağ ilinde yaşayıp dahil edilme kriterlerini karşılayan her birey gönüllü olarak çalışmaya katılmıştır.

Dahil edilme kriterleri şunlardı:

- 40–60 yaş aralığında olmak,
- Fiziksel olarak bağımsız olmak,
- Kardiyak, ortopedik veya kas-iskelet sistemi disfonksiyonu bulunmamak,
- Çalışma başlamadan önceki son 5 ay içinde haftada birden fazla düzenli fiziksel aktiviteye katılmamış olmak.

Hariç tutulma kriterleri ise şunlardı:

- Son 6 ay içinde kronik ayak bileği instabilitesi veya alt ekstremitte kas-iskelet yaralanması geçirmiş olmak,
- Hormon replasman tedavisi almak,
- Kontrolsüz diyabet veya hipertansiyon tanısına sahip olmak.

Tüm bu koşulları sağlayan ve araştırma sürecini tamamlayan örneklem grubu, yaş ortalaması $46,61 \pm 7,33$ olan toplam 32 gönüllü bireyden oluşmuştur.

2.2. Veri Toplama

2.2.1. Araştırma modeli

Araştırma deneysel model türlerinden gerçek deneysel modeldir. Gerçek Deneme Modelleri, bilimsel değeri en yüksek araştırmalar, gerçek deneme modelleri ile yapılan araştırmalardır. Gerçek deneme modellerinin ortak özellikleri: Birden çok grup kullanılması, grupların yansız atanmasıdır. Bundan dolayı da her deneme modelinde en az bir deney, bir de kontrol grubu bulunur. Kendi içerisinde 3'e ayrılır; Ön test-Son test Kontrol Gruplu Model: Bu modelde yansız atama ile oluşturulmuş iki grup bulunur. Bunlardan biri deney, diğeri kontrol grubu olarak kullanılır. Her iki gruptan da hem deney öncesinde, hem de sonrasında ölçüm alınır. Bu modelde en önemli nokta, deney öncesi ölçümler arasında anlamlı farklar bulunması durumunda önlemler alınması gerekliliğidir (Karasar, 2013).

2.2.2. Vücut Kompozisyonu Ölçümü

Katılımcıların tüm vücut bileşimleri biyoelektrik impedans analiz (BİA) cihazı kullanılarak belirlenecektir. BİA cihazı; 8 elektrotlu, 50 kHz sabit akımla (hand to hand, foot to foot) çalışan, 5 ayrı akım dalgası ile beş ayrı bölge için (sağ ve sol kol, sağ ve sol bacak, gövde) yağ oranı, kas kütlesi ve yağsız kütle değerlerini ölçen bir cihazdır. Ölçümler, BİA cihazının çalışma prensipleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Saritaş ve ark., 2011).

2.2.3. Fonksiyonel Hareket Tarama Ölçüm Protokolü

Gray Cook, Lee Burton ve Keith Fields tarafından geliştirilen Fonksiyonel Hareket Tarama (FMS)TM sistemi, sporcularda potansiyel yaralanma riskinin ve bireylerin hareket paterni kalitesini belirlenmesinde, nöromüsküler kontrolün zayıflığının değerlendirilmesinde ve atletik performansın geliştirilmesinde kullanılan sistemdir. Uzman eşliğinde, bir bireyin temel hareket modellerini değerlendirmesine izin vermeye çalışan bir tarama sistemidir. Böyle bir tarama sistemi ayrıca, yaralanmayı öngörebilmesi veya ameliyattan sonra rehabilitasyonun tamamlanmasının ardından spora dönmeye hazır olup olmadığının belirlenmesine yardımcı olacak çok önemli bir araç sağlayabilir (29).

Hareket taramasının amacı, aşağıdakiler dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere, bireylerin çeşitli şekillerde eğitim ve rehabilite etme yöntemlerini değerlendirmede yol gösteren bir araç olabilir;

- Fiziksel aktivite seviyesini korumaya veya arttırmaya çalışan risk altındaki bireylerin belirlenmesi.
- Temel hareket kalıplarını normalleştirmek veya iyileştirmek için düzeltici egzersizi sistematik olarak kullanarak program tasarımına yardımcı olmak.
- Değişen yaralanma durumu veya kondisyon seviyeleri varlığında ilerlemeyi ve hareket modeli gelişimini izlemek için sistematik bir araç sağlamak.
- İstatistiksel gözlem için derecelendirme ve sıralama hareketine izin verecek fonksiyonel bir hareket temel çizgisi oluşturmak (Cook ve diğ., 2014).

Fonksiyonel Hareket Tarama testi 7 farklı temel hareketten oluşmaktadır (derin çömelme, engelli adım alma, tek çizgide adım alma, omuz mobilitesi, aktif düz bacak kaldırma, gövde stabilitesi sınav, rotasyon stabilitesi). FMS için puanlama dört farklı olasılıktan oluşur. Puanlar sıfırdan üçe kadar değişir, üç mümkün olan en iyi puandır. FMS testinden alınacak en yüksek puan 21'dir. 14 puanın altında bulunan bireyler sakatlık riski taşıyabilmektedirler (29).

2.2.4. Prosedür

Katılımcılar randomize olarak 2 grubu ayrılmıştır. Bu gruplar; kuvvet egzersiz grubu ve kontrol grubu olarak isimlendirilmiştir. Kuvvet egzersiz grubuna 12 hafta boyunca haftada 3 gün ortalama 1 saat bireysellik ilkesi dikkate alınarak aerobik egzersizler uygulanmıştır. Ön testlerden elde edilen veriler neticesinde egzersiz programları tasarlanmıştır. İki gruba da 12 hafta sonunda son testler uygulanmıştır.

2.2.5. İstatistiksel Analiz

Veriler, SPSS v.18.0 istatistik programı (SPSS Inc., Chicago, ABD) kullanılarak analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlenmiştir. Herhangi bir analiz yapılmadan önce, tüm veriler, Normallik açısından Shapiro-Wilk testi ile, kontrol edilmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, ortalama (mean) ve standart sapma (SD) olarak sunulmuştur. Değişkenler arasında farklılığın belirlenmesinde bağımsız örneklem t-testi analizi kullanılmıştır.

3.BULGULAR

Tablo 1. Değişkenlerin tanımlayıcı verileri

Değişkenler	Gruplar	N	Ortalama	Ss.
FMS ön test	Kontrol	22	12,47	2,78
	Direnç	22	12,73	2,96
FMS son test	Kontrol	22	12,88	3,51
	Direnç	22	15,33	2,96

Tablo 2. Değişkenler arasındaki farklılığı gösteren veriler

Değişkenler	F	Sd	t	p
FMS-fark testi	2,389	30	-2,694	0,015

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Williams ve ark. (29) tarafından yapılan bir meta-analiz, periyodize kuvvet antrenmanı programlarının, hem sporcularda hem de antrenmansız bireylerde, kuvvet gelişimini sağlama açısından periyodize olmayan programlara göre daha etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, periyodize programların FMS toplam puanı üzerindeki etkisine ilişkin kanıtlar sınırlıdır. Bu konuda yalnızca Cosio-Lima ve ark. [30] tarafından gerçekleştirilen bir çalışma, periyodize geleneksel kuvvet antrenmanı programı sonrasında FMS toplam puanındaki değişimleri incelemiş ve anlamlı bir fark bulamamıştır. Benzer biçimde, geleneksel kuvvet antrenmanlarını kullanan diğer çalışmalar da FMS toplam puanında anlamlı bir değişiklik bildirmemiştir (18, 19). Sonuç olarak, araştırmamızda direnç egzersizi uygulanan grubun FHT skorlarındaki artış kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde artış göstermiştir. Bu noktada, yetişkin bireylere yönelik uygulanan direnç egzersizlerinin fonksiyonel hareket kapasitesi üzerinde olumlu etkilere sebep olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Hootman JM, Dick R, Agel J. Epidemiology of collegiate injuries for 15 sports: Summary and recommendations for injury prevention initiatives. *Journal of Athletic Training*, 2007;42:311–9.
2. Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 2014;9(3):396–409.
3. Gribble PA, Hertel J, Plisky P. Using the star excursion balance test to assess dynamic postural-control deficits and outcomes in lower extremity injury: A literature and systematic review. *Journal of Athletic Training*. National Athletic Trainers Association, 2012;47:339– 57.<https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.08>
4. Harris-Hayes M, Van Dillen LR. The Inter-Tester Reliability of Physical Therapists Classifying Low Back Pain Problems Based on the Movement System Impairment Classification System. *PM&R*, 2009;1:117–26. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2008.08.0015>.
5. Kritz M, Cronin J, Hume P. The bodyweight squat: A movement screen for the squat pattern. *Strength and Conditioning Journal*, 2009;31(1):76–85.<https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318195eb2f>

6. Bonazza NA, Smuin D, Onks CA, Silvis ML, Dhawan A. Reliability, Validity, and Injury Predictive Value of the Functional Movement Screen. *American Journal of Sports Medicine*, 2017;45(3):725–32.<https://doi.org/10.1177/03635465166419377>.
7. Bunn P dos S, Rodrigues AI, Bezerra da Silva E. The association between the functional movement screen outcome and the incidence of musculoskeletal injuries: A systematic review with meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, 2019;35:146–58.<https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2018.11.0118>.
8. Moore E, Chalmers S, Milanese S, Fuller JT. Factors Influencing the Relationship Between the Functional Movement Screen and Injury Risk in Sporting Populations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 2019;49(9):1449–63.<https://doi.org/10.1007/s40279-019-01126-59>.
9. Cook G, Burton L, Hoogenboom BJ, Voight M. Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function-part 2. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 2014;9(4):549–63.
10. Kiesel, KB, Plisky, Kersey P. Function movement test score as a predictor of time-loss during professional football team's preseason. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 2008;40: 234.<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000322505.56453.84>
11. Stanek JM, Dodd DJ, Kelly AR, Wolfe AM, Swenson RA. Active duty firefighters can improve Functional Movement Screen (FMS) scores following an 8-week individualized client workout program. *Work*, 2017;56(2):213–20.<https://doi.org/10.3233/WOR-172493>
12. Baron J, Bieniec A, Swinarew AS, Gabryś T, Stanula A. Effect of 12-week functional training intervention on the speed of young footballers. *International Journal Environmental Research and Public Health*, 2020;17(1):160–70.<https://doi.org/10.3390/ijerph17010160>
13. Rey E, Padrón-Cabo A, Penedo-Jamardo E, González-Víllora S. Effect of the 11+ injury prevention programme on fundamental movement patterns in soccer players. *Biology of Sport*, 2018;35(3):229–36.<https://doi.org/10.5114/biolsport.2018.74636>
14. Lago-Fuentes C, Rey E, Padrón-Cabo A, De Rellán-Guerra AS, Fragueiro-Rodríguez A, García-Núñez J. Effects of core strength training using stable and unstable surfaces on physical fitness and functional performance in professional female futsal players. *Journal of Human Kinetics*, 2018;65(1):213–24.<https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0029>
15. Bodden JG, Needham R. The effect of an intervention program on FMS test scores in MMA athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2015;29(1):219–25.<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a480bf>
16. Jafari M, Zolaktaf V GG. Functional Movement Screen (FMS) Composite Scores in Firefighters: Effects of Corrective Exercise Training. *Journal of Sports Rehabilitation*, 2018;29(1):102–106.<https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0080>
17. St. Laurent CW, Masteller B, Sirard J. Effect of a suspension-trainer-based movement program on measures of fitness and functional movement in children: A pilot study. *Pediatric Exercise Science*, 2018;30(3):364–75.<https://doi.org/10.1123/pes.2016-0278>
18. Yildiz S, Pinar S, Gelen E. Effects of 8-week functional vs. traditional training on athletic performance and functional movement on prepubertal tennis players. *Journal of*



Strength and Conditioning Research, 2019;33(3):651–61.<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002956>

19. Liao T, Li L, Wang YT. Effects of functional strength training program on movement quality and fitness performance among girls aged 12–13 years. Vol. 33, Journal of Strength and Conditioning Research, 2019;33(6): 1534–41.

MOBİLYA BAĞLAMINDA HABER İÇERİKLERİNİN WEB MADENCİLİĞİYLE ÇÖZÜMLENMESİ: HABER ARAMASI ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Timuçin BARDAK ¹, Prof. Dr. Kinyas POLAT ², Prof. Dr. Selahattin BARDAK ³

¹ Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, timucinb@bartin.edu.tr- 0000-0002-1403-1049

² Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

³ Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

ÖZET

Mobilya sektörü, çevrimiçi haber akışlarında yoğun biçimde temsil edilen ve tüketici algısını özellikle kampanya dönemleri, indirimler ve mağaza iletişimi üzerinden etkileyen bir alandır. Bu çalışmanın amacı, Haber arama sonuçlarında “mobilya” anahtar sözcüğüyle ulaşılan haber başlıkları ve özetlerini web madenciliği yaklaşımıyla çözümleyerek sektörel söylemin odak kavramlarını kelime sıklığı temelinde görünür kılmaktır.

Yöntemde, haber sayfalarından başlık ve özetlerin otomatik toplanmasının ardından metinler küçük harfe çevrilmiş; noktalama, gereksiz işaretler ve durak sözcükler temizlenmiş; kalan sözcükler üzerinde sıklık analizi uygulanmıştır. Elde edilen dağılım, haber dilinin ağırlıklı olarak perakende ve kampanya ekseninde kurulduğunu göstermektedir. En sık rastlanan sözcükler ve (toplam geçiş; yer aldığı haber sayısı) şu şekilde belirlenmiştir: mobilya (269; 40), alışveriş (119; 37), ev (116; 38), kampanya (101; 35), haber (88; 36), en iyi (58; 29), fırsatlar (57; 30), mağaza (57; 22) ve indirim (54; 32). “Mobilya” ve “ev” ekseninin neredeyse tüm haberlere yayıldığı; “alışveriş, fırsatlar, indirim, mağaza, en iyi” gibi ifadelerin ise haber metinlerinde güçlü bir satış ve promosyon söylemi oluşturduğu görülmektedir. Bu tablo, çevrimiçi haberlerin tüketiciyi yönlendiren “kampanya odaklı” bir dil benimsediğine, içerik üreticilerinin ise haberleştirme sürecinde fiyat/ürün vurgusunu öne çıkardığına işaret etmektedir.

Çalışma, haber içeriklerinin sistematik biçimde çözümlenmesiyle pazarlama, halkla ilişkiler ve içerik stratejilerine veri temelli bir bakış sunmaktadır. Bulgular, özellikle kampanya duyuruları sırasında hangi sözcüklerin öne çıktığını, hangi kavramların sektörün çekirdeğini oluşturduğunu ve haber dilinin nasıl şekillendiğini nicel olarak ortaya koymakta

Anahtar Kelimeler: web madenciliği, metin madenciliği, mobilya, haber analizi, kelime sıklığı

WEB MINING OF NEWS CONTENT IN THE FURNITURE DOMAIN: EVIDENCE FROM NEWS SEARCH

ABSTRACT

The furniture sector is prominently represented in online news flows and shapes consumer perception—especially around sales periods, discounts, and store communications. This study aims to make the focal concepts of sectoral discourse visible by applying a web-mining approach to headlines and snippets retrieved from Yahoo News search results for the keyword “furniture,” using a word-frequency lens.

After automatically collecting headlines and summaries, texts were lowercased, punctuation and extraneous markers removed, and stopwords filtered; frequency analysis was then applied. The distribution indicates that news language is predominantly organized around retail and promotional themes. The most frequent terms and (total occurrences; number of articles containing the term) are: furniture (269; 40), shopping (119; 37), home (116; 38), campaign (101; 35), news (88; 36), best (58; 29), deals (57; 30), store (57; 22), and discount (54; 32). “Furniture” and “home” span nearly all items, while “shopping, deals, discount, store, best” form a strong sales/promotion discourse across the corpus. This pattern suggests that online news adopts a campaign-oriented language that guides consumers, and content producers foreground price/product cues in newsmaking.

The study provides a data-driven perspective for marketing, public relations, and content strategy by systematically analyzing news content and revealing which terms dominate during campaign announcements, which concepts constitute the sector’s core, and how the news language is structured.

Keywords: web mining, text mining, furniture, news analysis, word frequency

1. GİRİŞ

Dijital haber platformları, tüketici algısını ve sektörlerin kamusal görünürlüğüne doğrudan şekillendiren temel mecralardır; ayrıca güncel bilgiye hızlı erişim sunarlar. Son on yılda web verilerinin erişilebilirliğinin artması ve bu verilerden içgörü üretme yöntemlerindeki hızlı ilerlemeler, sosyal bilimlerde web madenciliği temelli ampirik araştırmaların belirgin biçimde yaygınlaşmasını sağlamıştır (Schütz et al., 2025). Web madenciliği, yapılandırılmamış çevrimiçi verilerden değerli içgörüler çıkarmada güçlü bir araçtır. Kapalı uçlu sorulara ve sınırlı veri kümelerine dayanan geleneksel anketlerin aksine, çok büyük hacimdeki tüketici geri bildirimini işler ve bu yöntemlerin yakalayamadığı karmaşık örüntüleri ortaya çıkarır. Çevrimiçi anketler, çevrimdışı yöntemlere göre daha düşük maliyetle daha zengin bulgular

sunabilse de, web madenciliği bu yaklaşımları tamamlayarak gerçek zamanlı, ölçeklenebilir ve doğal akışındaki veriden derinlemesine analiz imkânı sağlar(Mojoodi et al., 2025).

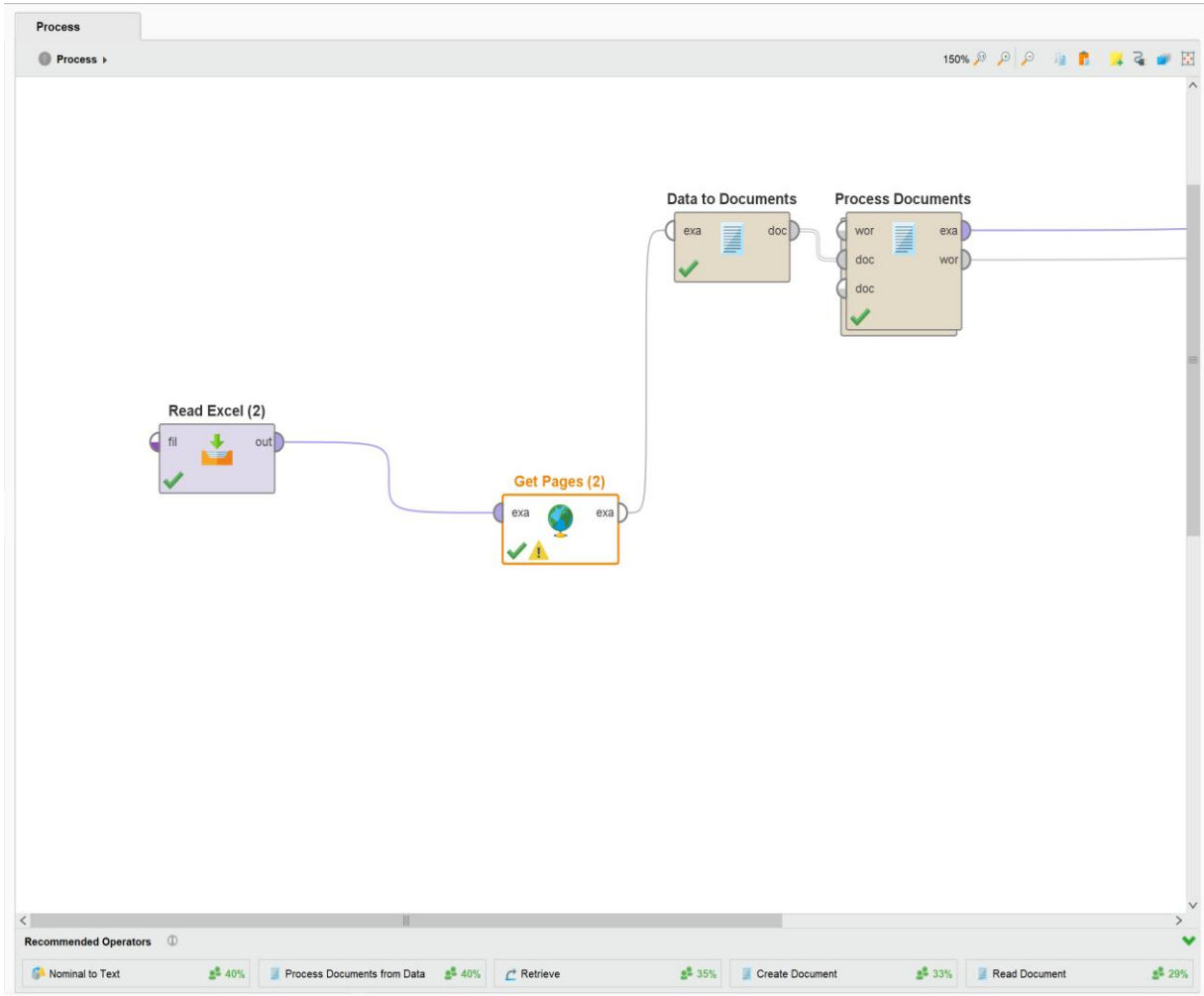
Web madenciliği bağlamında da kullanılan metin madenciliği, metinlerden ve web belgelerinden yüksek nitelikli bilgi çıkarmaya odaklanan bir süreçtir. Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazları, metin verileri dâhil büyük miktarda yapılandırılmış ve yapılandırılmamış veri üretmektedir. Büyük veri ve yapılandırılmamış verilerdeki bu fırsatlar, kamu kurumları ve şirketleri stratejik iş süreçlerini iyileştirmek ve karar almayı hızlandırmak için metin madenciliğine dayalı çözümler benimsemeye yöneltmektedir(Xie et al., 2020).

Mobilya; ev yaşamı, konfor, estetik ve dayanıklılık ekseninde yalnızca gündelik hayatın değil, perakende kampanyalarının da merkezinde yer alır. Ekonominin önemli bir bileşeni olan mobilya sektörü geniş istihdam yaratır; bu nedenle sektöre ilişkin haberler stratejik değer taşır ve güncel haber akışı karar vericilere taze bilgi sunar. Haber dilindeki vurguların sistematik çözümlemesi ise hangi kavramların öne çıktığını, hangi satış/iletişim söylemlerinin benimsendiğini ve zaman içinde odakların nasıl değişip güçlendiğini görünür kılar.

Bu çalışma, dijital haber platformlarında mobilya sektörüne ilişkin başlık ve özetleri sistematik biçimde toplayıp metin madenciliği teknikleriyle çözümlemeyi amaçlar. Çalışma, haber içeriklerini sistematik metin madenciliğiyle çözümleyerek pazarlama, halkla ilişkiler ve içerik stratejilerine veri temelli içgörüler sunar. Bulgular; kampanya dönemlerinde öne çıkan sözcükleri, sektörün çekirdek kavramlarını ve haber dilinin nasıl biçimlendiğini nicel olarak ortaya koymaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, İngilizce haber sitelerinde "furniture" anahtar kelimesiyle yapılan aramalar sonucunda elde edilen bağlantıların başlık ve özetleri derlenmiştir. Veri setinden yinelenen ve boş kayıtlar çıkarılmış, ardından metin ön işleme adımları uygulanmıştır. Bu kapsamda noktalama işaretleri kaldırılmış, tüm metinler küçük harfe dönüştürülmüş, durak sözcükler elimine edilmiş ve sözcükleme (tokenizasyon) gerçekleştirilmiştir. Her terim için toplam geçiş sayısı (TF - Term Frequency) ve terimin yer aldığı farklı haber sayısı (DF - Document Frequency) hesaplanarak en sık ve en yaygın terimler belirlenmiştir. Elde edilen sayımlar, örneklem üzerinde yapılan manuel kontrol ile doğrulanmıştır. Çalışmada veri işleme ve metin analizi adımları için Altair RapidMiner Studio kullanılmıştır. RapidMiner, görsel operatör tabanlı mimarisi, zengin metin madenciliği eklentileri ve tekrarlanabilir iş akışları sunması nedeniyle akademik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilmektedir(Delen, 2012; Nguyen et al., 2024; Ristoski et al., 2015). Şekil 1’de, web madenciliği için izlenen iş akışı gösterilmektedir. Görsel 1’de web madenciliğinde izlenen iş akışı verilmiştir.



Görsel 1. Web Madenciliği İçin İzlenen İş Akışı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yürütülen metin madenciliği analizi, haber başlıkları ve özetlerinde en yoğun kullanılan terimlerin “mobilya”, “alışveriş”, “ev”, “kampanya” vb. olduğunu göstermiştir. Terimler perakende-promosyon, ev-yaşam ve bilgilendirme olmak üzere üç ana temada kümelenmekte; sıklık (TF) ve kapsam (DF) birlikte ele alındığında söylemin geniş bir haber yelpazesine yayılan, belirgin biçimde satış/kampanya odaklı bir çerçeveye yöneldiği anlaşılmaktadır. Çizelge 1’de en çok kullanılan kelimeler ve bunların kapsadığı haber sayıları verilmiştir.

Çizelge 1. Kelimeler ve Kapsadığı Haber Sayısı

Sözcük	TF (Toplam Geçiş)	DF (Kapsadığı Haber Sayısı)
mobilya	269	40
alışveriş	119	37
ev	116	38
kampanya	101	35
haber	88	36
en iyi	58	29
fırsatlar	57	30
mağaza	57	22
indirim	54	32

Şekil 2'de sunulan kelime bulutu, en sık geçen terimlerin görsel olarak farklılaştırılmasını sağlamaktadır. Kelime bulutunda, kullanım sıklığı yüksek olan terimler daha büyük punto ile gösterilmiş, böylece söylemsel yoğunlaşma alanları daha kolay fark edilebilir hale getirilmiştir.

Görsel 2'de çalışma sonucunda elde edilen kelime bulutu verilmiştir.



Görsel 2. Kelime Bulutu Gösterimi

Sonuçlar haberlerin, "mobilya" ve "ev" kavramları etrafında şekillendiğini, "alışveriş", "kampanya", "indirim" ve "fırsatlar" terimlerinin ise belirgin bir promosyon odağı oluşturduğunu göstermektedir. "Haber" ve "en iyi" terimlerinin yüksek kapsama oranı, içeriğin duyuru ve karşılaştırmalı bilgi sunma işlevlerini öne çıkarırken, "mağaza" teriminin düşük kapsama oranı perakendeci-özü vurguların zayıf kaldığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, pazarlama stratejilerinde promosyon dilinin yaşam tarzı öğeleri ve ürün özellikleriyle dengelenmesi gerektiğini göstermektedir.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Altair RapidMiner Studio kullanılarak mobilya sektörüne yönelik haber metinleri sistematik olarak analiz edilmiş ve kelime sıklığı ile kapsama oranları hesaplanmıştır. Analiz sonuçları, haber dilinin "alışveriş", "kampanya", "indirim" ve "fırsatlar" terimleri etrafında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. "Mobilya" ve "ev" kavramlarının ise neredeyse tüm haber metinlerine yayıldığı tespit edilmiştir. Bu bulgular, sektörel habercilikte promosyon odaklı söylemin baskın olduğunu göstermektedir.

Çalışmada önerilen yöntem, medya izleme, içerik stratejisi geliştirme ve pazarlama iletişimi kararlarında kullanılabilecek tekrarlanabilir, düşük maliyetli ve uygulamaya dönük bir analiz çerçevesi sunmaktadır. Mobilya sektöründe metin madenciliği uygulamalarının sınırlı sayıda olması nedeniyle, bu çalışma alandaki boşluğu doldurmaya yönelik önemli bir katkı sunmaktadır. Gelecek araştırmalarda, duygu analizi ve konu modellemesi gibi ileri metin madenciliği tekniklerinin entegrasyonu ile sektörel dinamiklere dair daha derinlemesine içgörüler elde edilebilir. Bu alanda yapılacak yeni çalışmaların, mobilya sektörünün dijital dönüşüm süreçlerine katkı sağlaması beklenmektedir.



KAYNAKÇA

- [1] Delen, D. Extracting Knowledge from Published Literature Using RapidMiner, Practical Text Mining and Statistical Analysis for Non-structured Text Data Applications, Elsevier, 2012.
- [2] Mojoodi, A., Kumail, T., Ahmadzadeh, S. M., Jalalian, S. Perceptual mapping and key factors influencing hotel choices: A web mining approach to Booking.com reviews, International Journal of Hospitality Management, 131, 2025.
- [3] Nguyen, T. D., Le, Q. T. P., Doan, M. T. T., Bui, H. M. Predicting total alkalinity in saline water using machine learning: A case study with RapidMiner, Sustainable Chemistry One World, 4, 2024.
- [4] Ristoski, P., Bizer, C., Paulheim, H. Mining the Web of Linked Data with RapidMiner, Journal of Web Semantics, 35, 2015.
- [5] Schütz, M., Kriesch, L., Losacker, S. Mapping local government priorities: a web-mining approach for regional research, Regional Science Policy and Practice, 17, 2025.
- [6] Xie, X., Fu, Y., Jin, H., Zhao, Y., Cao, W. A novel text mining approach for scholar information extraction from web content in Chinese, Future Generation Computer Systems, 111, 2020.

TÜKETİCİLERİN MOBİLYA İADE NEDENLERİNİN KARAR AĞACI MODELİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Prof. Dr. Selahattin BARDAK ¹, Prof. Dr. Timuçin BARDAK ², Prof. Dr. Kinyas POLAT ³

¹ Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, sbardak@sinop.edu.tr-0000-0001-9724-4762

² Bartın Üniversitesi, Bartın Meslek Yüksekokulu, timucinb@bartin.edu.tr- 0000-0002-1403-1049

³ Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, kpolat@sinop.edu.tr-0000-0003-4574-1286

ÖZET

Tüketiciler günümüzde ürünleri hem çevrim içi hem de fiziksel mağazalardan temin etmekte; bu süreçte bazı ürünlerden memnun kalmamakta ve iade yoluna gidebilmektedir. Mobilya, iade kararlarında önemli bir paya sahip ürün gruplarından biridir.

Bu çalışmada, tüketicilerin mobilya iade nedenleri karar ağacı modeliyle değerlendirilmektedir. Veri toplamak amacıyla 18 yaş ve üzeri tüketicilere yönelik 10 sorudan oluşan yapılandırılmış bir soru formu uygulanmıştır. Bu soru formu 115 kişiye uygulanmıştır. Mobilya ürünü hiç iade etmemiş katılımcıların yanıtları analiz dışı bırakılmıştır. Karar ağacı sınıflandırma modeli RapidMiner yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve verilerin etkin biçimde işlenmesi sağlanmıştır.

Bulgular, modelin %78,18 doğrulukla iade nedenlerini öngörebildiğini göstermektedir. Değişken önem sırası incelendiğinde, en belirleyici etmenin 0,291 önem değeriyle ev sahipliği durumu olduğu; bunu sırasıyla cinsiyet, satın alma kanalı, ürün kategorisi, mobilya satın alma durumu, ikamet yeri, ürün kullanım durumu, yaş ve hanedeki çocuk sayısının izlediği saptanmıştır.

Sonuç olarak, çalışma mobilya iade davranışını etkileyen başlıca etmenleri ortaya koyarak işletmelere ve bu alanda çalışma yürüten araştırmacılara uygulanabilir içgörüler sunmaktadır. Alan yazınındaki sınırlı çalışma sayısı dikkate alındığında, farklı örneklem ve yöntemlerle yapılacak ilave araştırmaların bulguların genellenebilirliğini güçlendireceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Mobilya, İade nedenleri, Karar ağacı, Tüketici davranışı

EVALUATION OF CONSUMERS' REASONS FOR FURNITURE RETURNS USING THE DECISION TREE MODEL

ABSTRACT

Consumers today source products from both online and physical stores, and some may become dissatisfied with a product and return it. Furniture is one of the product groups that accounts for a significant share of return decisions.

This study evaluates consumer reasons for furniture returns using a decision tree model. A structured questionnaire consisting of 10 questions was administered to consumers aged 18 and over to collect data. This questionnaire was applied to 115 people. Responses from participants

who had never returned a furniture product were excluded from the analysis. The decision tree classification model was created using RapidMiner software and efficient processing of the data was ensured.

The findings show that the model can predict the reasons for returns with 78.18% accuracy. When the order of variable importance was examined, it was determined that the most determining factor was home ownership status with a significance value of 0.291, followed by gender, purchasing channel, product category, furniture purchase status, place of residence, product usage status, age and the number of children in the household.

As a result, the study reveals the main factors affecting furniture return behavior and provides applicable insights to businesses and researchers working in this field. Considering the limited number of studies in the literature, it was evaluated that additional research with different samples and methods would strengthen the generalizability of the findings.

Keywords: Furniture, Reasons for returns, Decision tree, Consumer behavior

1. GİRİŞ

Günümüzde tüketiciler hem fiziksel mağazalardan hem de çevrim içi platformlardan yoğun biçimde alışveriş yapmakta; bu süreçte bazı ürünler farklı gerekçelerle iade edilmektedir. İadelerin gerekçeleri ürün kategorisine göre değişmekle birlikte hasar, üretim hatası, açıklama/ürün uyumsuzluğu (renk–doku–fonksiyon), ölçü ve montaj uyumsuzluğu gibi nedenler öne çıkmaktadır. Son yıllarda e-ticarete iade olgusuna yönelik kapsamlı analizler; “yanlış beden/ölçü”, “kalite kusuru/arıza”, “beklenti karşılamama/açıklama ile uyumsuzluk” gibi kategorilerin birçok sektörde belirleyici olduğunu, iade oranlarının kategori ve politika farklılıklarına bağlı olarak %5’ten %60’a kadar değişebildiğini göstermektedir [1]. Bu bulgular, özellikle büyük hacimli ve montaj gerektiren mobilya gibi kategorilerde ölçü ve yerleşim uyumsuzluğu ile taşıma kaynaklı hasarın iade riskini artırdığını da ima etmektedir [1, 2]. Dahası, iade formlarında kullanıcılara sunulan sabit “iade nedenleri” listelerinin, gerçek memnuniyetsizlik nedenlerini her zaman tam yansıtmayabildiği; bu nedenle metin madenciliği ve konu modelleme tabanlı yaklaşımların kök nedenleri daha isabetli yakalayabildiği raporlanmaktadır [3].

İade davranışını politika tasarımı da güçlü biçimde etkiler. Platformlar ve satıcılar daha “esnek” (örn. ücretsiz kargo, uzun süre) politikalarla talebi artırmayı hedeflese de, bu düzenlemeler bazı bağlamlarda toplam maliyeti büyütüp fırsatçı davranışı teşvik edebilir; dengeyi doğru kuramayan firmalar kârlılık ve sürdürülebilirlik açısından zorlanabilir [4]. Benzer şekilde, ürün değerlendirmeleri ve çevrim içi yorumlar tüketici beklentisini şekillendirerek iade olasılığını etkiler; özellikle ürünle ilgili bilgi asimetrisi ve beklenti–gerçeklik açığı yükseldiğinde iade oranları artabilmektedir [5]. Bu nedenle, ürün sayfalarında ölçü/uyum rehberleri, yüksek kaliteli görseller ve malzeme–renk açıklıklarının artırılması mobilya gibi kategorilerde iade baskısını azaltmak için kritik birer kaldıraçtır.

Yapılan bu çalışmada tüketicilerin mobilya iade nedenleri karar ağacı modeli ile değerlendirilmiştir. Karar ağaçları; değişken önemini doğal biçimde sıralayabilen, dallar üzerinden “hangi koşullarda iade beklenir?” sorusuna insan-okur yazarlığı yüksek yanıtlar üreten, dengesiz sınıflarla baş etmede maliyet duyarlı sınıflandırma/örnekleme (örn. sınıf

ağırlıkları, SMOTE) ile kolayca birleştirilebilen yöntemlerdir [6]. Son dönem çalışmalar, iade tahmininde yorumlanabilir makine öğrenmesi çizgisini güçlendirerek ürün özniteliklerini (ölçü, malzeme, fiyat aralığı), sipariş/teslimat süreç değişkenlerini (kanal, teslimat süresi, kargo türü), müşteri geçmişini ve hatta kullanıcı yorumlarından çıkarılan nitelikleri birlikte kullanan ve politika senaryolarına duyarlı açıklanabilir modellerin (karar ağaçları ve türevleri) yönetim kararlarına daha iyi girdi verdiğini göstermektedir [7].

2. UYGULAMALAR

Bu araştırmada, tüketicilerin mobilya ürünlerini iade etme nedenlerini ortaya koymak amacıyla veri madenciliği tekniklerinden karar ağacı modeli tercih edilmiştir. Veri toplama aşamasında, 18 yaş ve üzerindeki katılımcılara yöneltilen 10 soruluk bir soru formu kullanılmış ve toplam 115 kişiden yanıt alınmıştır. Analiz kapsamında, mobilya ürünü için iade deneyimi bulunmayan katılımcıların yanıtları değerlendirmeye dâhil edilmemiştir. Çalışmada kullanılan soru formu aşağıda sunulmuştur.

1. Yaşınız

18–35

36-55

56 ve üstü

2. Cinsiyetiniz

Kadın

Erkek

3. İkamet yeriniz

İl

İlçe

Kasaba-Köy

4. Ev sahipliği durumunuz

Ev sahibi

Kiracı

5. Hanedeki çocuk sayısı

Var

Yok

6. Son 3 yıl içinde mobilya satın aldınız mı?

Evet

Hayır

7. Mobilya satın alma kanalınız

Online pazar yeri

Markanın resmi online mağazası

Fiziksel mağaza

Özel ölçü/imar

8. Ürün kategorisi

Kanepe/koltuk

Yatak/baza

Dolap/şifonyer

Masa

Sandalye/ofis koltuğu

TV ünitesi

Ranza/çocuk mobilyası

Mutfak/banyo mobilyası

Bahçe mobilyası

Diğer

9. Ürün kullanım durumu

Kutusu açılmadı

Kuruldu ama kullanılmadı

Kısa süre kullanıldı

Düzenli kullanıldı

10. Mobilya iade nedeni

Ürün hasarlı geldi (kargo/taşıma)

Üretim hatası

Ölçü uyumsuzluğu

Renk/doku (ekran–gerçek farkı)

Ergonomi yetersiz

Eksik/yanlış parça

Kurulum sorunu

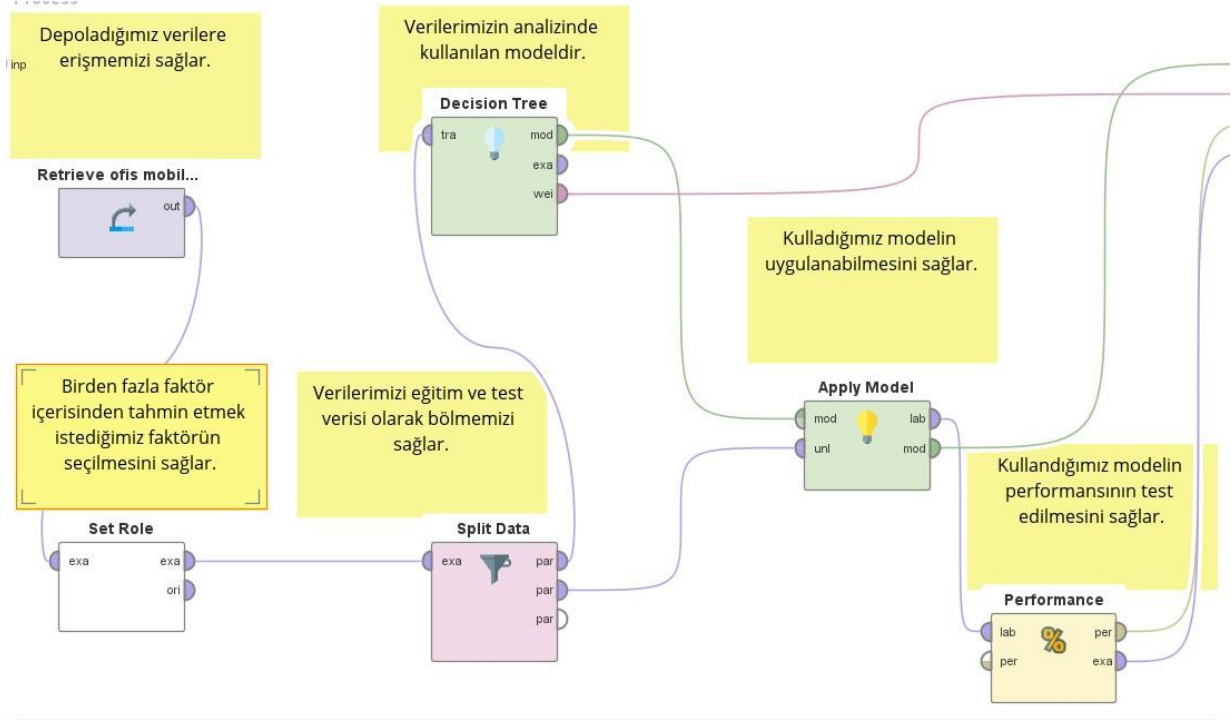
Teslimat gecikmesi

Yanlış ürün gönderildi

Fiyat/performans beklentim değişti

Diğer

Veriler toplandıktan sonra analizler, RapidMiner ortamında karar ağacı algoritması kullanılarak yürütülmüştür. RapidMiner, çok sayıda veri madenciliği tekniğinin uygulanmasına imkân veren bir platformdur. Bu platform, belirli görevleri yerine getiren operatörlerin bir akış diyagramı şeklinde birbirine bağlanmasıyla oluşturulan iş akışları (process) üzerinden çalışır. Karar ağacı modeline ilişkin kullanılan iş akışı Görsel 1’de sunulmuştur.



Görsel 1. Karar Ağacı Modelinde Uygulanan Proses

Görselden de izlenebileceği üzere, akıştaki her operatör belirli bir işlev üstlenmektedir; söz konusu işlevler Görsel 1’de operatörlerin üzerinde etiketlenmiştir. Analiz sürecinde veri kümesi %80 eğitim ve %20 test olacak şekilde ayrılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada karar ağacı modeli kullanılarak tüketicilerin mobilya ürünü iade nedenleri karar ağacı modeli ile tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Elde edilen verilerin analizinde tüketicilerin mobilya ürünü iade nedenleri %78.18 doğruluk ile tahmin etmiştir. Oluşturulan karar ağacı modelinde faktörlerin ağırlıkları Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Faktörler ve Ağırlıkları

Faktörler	Ağırlıkları
Satın alma kanalı	0.144
Ürün kullanım durumu	0.056
Yaş	0.055
Cinsiyet	0.147
İkamet yeri	0.063
Ev sahipliği durumu	0.291
Hanedeki çocuk sayısı	0.052
Son 3 yıldaki mobilya alma durumu	0.080
Ürün kategorisi	0.113

Yukarıdaki çizelge incelendiğinde en büyük faktörün 0,291 önem değeriyle ev sahipliği durumu olduğu; bunu sırasıyla cinsiyet, satın alma kanalı, ürün kategorisi, mobilya satın alma durumu, ikamet yeri, ürün kullanım durumu, yaş ve hanedeki çocuk sayısının izlediği tespit edilmiştir.

Çalışma sonucu elde edilen karar ağacının metin hali aşağıda verilmiştir.

Ürün kullanım durumu = Düzenli kullanıldı

| Yaşınız = 18-35: Ergonomi yetersizliği {Ergonomi yetersizliği=2, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=1, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=1}

| Yaşınız = 36-55

| | Satın alma kanalı = Fiziksel mağaza

| | | İkamet yeriniz = Kasaba/Köy: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=2, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | İkamet yeriniz = İlçe

| | | | Ev sahipliği durumunuz = Ev sahibi: Ergonomi yetersizliği {Ergonomi yetersizliği=2, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | | Ev sahipliği durumunuz = Kiracı: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=2, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | Satın alma kanalı = Online pazar: Fiyat/performans {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=2, Diğer=0}

Ürün kullanım durumu = Kuruldu ama kullanılmadı

| Satın alma kanalı = Fiziksel mağaza

| | Ev sahipliği durumunuz = Ev sahibi

| | | Ürün kategorisi = Kanepa/koltuk

| | | | Son 3 yıl içerisinde mobilya aldınız mı = Evet: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=7, Kurulum sorunu=1, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | | Son 3 yıl içerisinde mobilya aldınız mı = Hayır

| | | | | Hanedeki çocuk = Var

| | | | | İkamet yeriniz = İl: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=1, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=1, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | | | İkamet yeriniz = İlçe: Eksik/yanlış parça {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=2, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | | | Hanedeki çocuk = Yok: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=2, Kurulum sorunu=1, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat

gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | Ürün kategorisi = Yatak/baza: Kurulum sorunu {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=3, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | Ev sahipliği durumunuz = Kiracı

| | | Cinsiyetiniz = Erkek: Ölçü uyumsuzluğu {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=1, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=3, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | Cinsiyetiniz = Kadın: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=1, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=1, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| Satın alma kanalı = Markanın resmi online mağazası

| | Ev sahipliği durumunuz = Ev sahibi: Yanlış ürün {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=5, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | Ev sahipliği durumunuz = Kiracı: Eksik/yanlış parça {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=4, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| Satın alma kanalı = Online pazar: Renk/doku (ekran-gerçek farkı) {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=3, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| Satın alma kanalı = Özel ölçü/imar

| | İkamet yeriniz = İl

| | | Cinsiyetiniz = Erkek: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=2, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=2, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | | Cinsiyetiniz = Kadın: Ölçü uyumsuzluğu {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=3, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | İkamet yeriniz = İlçe: Ölçü uyumsuzluğu {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=5, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

Ürün kullanım durumu = Kutusu açılmadı

| Cinsiyetiniz = Erkek

| | Ürün kategorisi = Dolap/şifonyer: Ürün hasarlı (kargo/taşıma) {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=2, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | Ürün kategorisi = Masa: Fiyat/performans {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat

gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=3, Diğer=0}

| | Ürün kategorisi = Yatak/baza: Teslimat gecikmesi {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=2, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=3, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| Cinsiyetiniz = Kadın: Ürün hasarlı (kargo/taşıma) {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=9, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=1}

Ürün kullanım durumu = Kısa süre kullanıldı

| Son 3 yıl içerisinde mobilya aldınız mı = Evet: Ergonomi yetersizliği {Ergonomi yetersizliği=7, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=1, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| Son 3 yıl içerisinde mobilya aldınız mı = Hayır

| | Ev sahipliği durumunuz = Ev sahibi: Üretim hatası {Ergonomi yetersizliği=0, Üretim hatası=3, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=0, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

| | Ev sahipliği durumunuz = Kiracı: Ergonomi yetersizliği {Ergonomi yetersizliği=1, Üretim hatası=0, Kurulum sorunu=0, Ürün hasarlı (kargo/taşıma)=0, Ölçü uyumsuzluğu=0, Teslimat gecikmesi=1, Eksik/yanlış parça=0, Renk/doku (ekran-gerçek farkı)=0, Yanlış ürün=0, Fiyat/performans=0, Diğer=0}

Yukarıda verilen karar ağacı algoritmasının metin halinin bazılarını yorumlayacak olursak;

1- Mobilya ürününü kullanım durumu düzenli ve yaşı 18-35 olan kişilerin mobilya iade nedeninin ergonomi yetersizliği olduğu tespit edilmiştir.

2- Ürün kullanım durumu düzenli, yaşı 36-55, mobilya satın alma kanalı fiziksel mağaza ve ikamet yeri kasaba/köy olan kişilerin mobilya iade nedeninin üretim hatası olduğu belirlenmiştir.

3- Mobilya ürününü kullanım durumu düzenli, yaşı 36-55, satın alma kanalı fiziksel mağaza, ikamet yeri ilçe, ve ev sahipliği durumu ev sahibi olanların ürün iade nedeninin ergonomi yetersizliği olduğunu söylemişlerdir.

4- Ürün kullanım durumu düzenli, yaşı 36-55 ve mobilya satın alma kanalı online Pazar olan kişilerin ürün iade nedeninin fiyat/performans olduğu belirlenmiştir.

5- Mobilya ürünü kullanım durumu kuruldu ama kullanılmadı, satın alma kanalı fiziksel mağaza, ev sahipliği durumu ev sahibi, ürün kategorisi kanepe/koltuk ve son 3 yıl içerisinde mobilya alan kişilerin ürün iade nedenlerinin üretim hatası olduğu tespit edilmiştir.

6- Mobilya ürünü kullanım durumu kuruldu ama kullanılmadı, satın alma kanalı fiziksel mağaza, ev sahipliği durumu ev sahibi, ürün kategorisi kanepe/koltuk, son 3 yıl içerisinde

mobilya almayan, yaşadığı hanede çocuk olan ve ikamet yeri il olan kişilerin mobilya ürünü iade nedeninin üretim hatası, ikamet yeri ilçe olanların ise iade nedeninin eksik/yanlış parça olduğu belirlenmiştir.

7- Ürün kullanım durumu kuruldu ama kullanılmadı, satın alma kanalı fiziksel mağaza, ev sahipliği durumu ev sahibi ve ürün kategorisi yatak/baza olan kişilerin ürün iade nedeninin kurulum sorunu olduğu belirlenmiştir.

8- Mobilya ürünü kullanım durumu kuruldu ama kullanılmadı, satın alma kanalı markanın resmi online mağazası ve ev sahipliği durumu ev sahibi olanların ürün iade nedeninin yanlış ürün, ev sahibi durumu kiracı olanların ise iade nedeninin eksik/yanlış parça olduğu tespit edilmiştir.

9- Ürün kullanım durumu kuruldu ama kullanılmadı, satın alama kanalı online pazar olanların ürün iade nedeninin renk/doku (ekran-gerçek farkı) olduğu belirlenmiştir.

10- Ürün kullanım durumu kutusu açılmayan, cinsiyeti erkek ve ürün kategorisi dolap/şifonyer olan kişilerin ürün iade nedeninin kargo/taşıma hasarı olduğunu söylemişlerdir.

11- Ürün kullanım durumu kısa süre kullanılan ve son 3 yıl içerisinde mobilya ürünü alan kişilerin iade nedeninin ergonomi yetersizliği olduğu belirlenmiştir.

12- Ürün kullanım durumu kutusu açılmayan, cinsiyeti erkek ve ürün kategorisi yatak/baza olan kişilerin ürün iade nedeninin teslimat gecikmesi olduğu tespit edilmiştir.

13- Ürün kullanım durumu kutusu açılmayan ve cinsiyeti kadın olan kişilerin ürün iade nedeninin kargo/taşıma hasarı olduğunu söylemişlerdir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, tüketicilerin mobilya ürünü iade nedenleri karar ağacı modeliyle öngörülmüştür. Geliştirilen model, iade nedenlerini %78,18 doğrulukla tahmin etmiştir. Modelin oluşumunda en belirleyici değişkenin ev sahipliği olduğu saptanmış; bu değişkenin önem değeri 0,291 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulguların, mobilya üreten ve satan işletmeler için süreç iyileştirme ve karar destek açısından yararlı içgörüler sunacağı değerlendirilmektedir. Literatürde, farklı yöntemler kullanarak tüketicilerin iade davranışlarını irdeleyen çalışmalar sınırlı sayıdadır; bu nedenle alan yazının, alternatif modeller ve daha geniş örneklemelerle zenginleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Farber, M., Novgorodov, S., Guy, I. Learning Reasons for Product Returns on E-Commerce, Proceedings of ECNLP-7, 2024.



- [2] Das, L., Kunja, S. R. Why do consumers return products? A qualitative exploration of online product return behaviour of young consumers, *Journal of Retailing and Consumer Services*, 78, 2024.
- [3] Mor, A., Orsenigo, C., Soto Gomez, M., Vercellis, C. Shaping the causes of product returns: topic modeling on online customer reviews, *Electronic Commerce Research*, 2024.
- [4] Liu, H., Liu, Y., Li, X. Research on E-Commerce Platforms' Return Policies Considering Consumer Abusing Return Policies, *Sustainability*, 15(18), 2023.
- [5] Sahoo, N., Dellarocas, C., Srinivasan, S. The Impact of Online Product Reviews on Product Returns, *Information Systems Research*, 29(3), 2018.
- [6] Blockeel, H., et al. Decision trees: from efficient prediction to responsible AI, *Patterns*, 4(8), 2023.
- [7] Duong, Q. H., et al. Understanding and predicting online product return behavior: An interpretable machine learning approach, *International Journal of Production Economics*, 2025.

YOLOV11 TABANLI CNN VE DÖNÜŞTÜRÜCÜ MİMARİLERİ İLE KEMİK YAŞI TAHMİNİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Muhammed Yusuf İTMİŞ¹, Doç. Dr., Feyza ALTUNBEY ÖZBAY²

¹ Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 251137106@firat.edu.tr - 0009-0008-1292-8638

² Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, faltunbey@firat.edu.tr - 0000-0003-0629-6888

ÖZET

Çocuklarda büyüme ve gelişmenin düzenli olarak değerlendirilmesi, pediatrik endokrinoloji, ortopedi ve radyoloji gibi birçok tıp dalında kritik öneme sahiptir. Bu değerlendirmenin temel parametrelerinden biri olan kemik yaşı, çocuğun iskelet matürasyonunun objektif bir göstergesidir ve büyüme geriliği, erken ya da gecikmiş puberte, tiroit ve büyüme hormonu bozuklukları gibi endokrin hastalıkların tanı ve takibinde önemli bir referans değer sunar. Ancak klinik uygulamalarda kemik yaşı değerlendirmesi genellikle manuel yöntemlerle yapılmakta, bu da hem zaman hem de güvenilirlik açısından çeşitli kısıtlamalar doğurmaktadır. Özellikle yaygın kullanılan Greulich-Pyle atlası yöntemi, deneyimli bir radyolog için her bir görüntüde 5–10 dakika arasında süre almakta ve gözlemciler arası değerlendirmede 6–12 ay arasında değişen yüksek varyasyon göstermektedir. Bu sübjektiflik ve zaman maliyeti, otomatik, güvenilir ve hızlı kemik yaşı değerlendirme sistemlerine duyulan gereksinimi artırmaktadır. Bu çalışmada, ResNet50, ResNet101, EfficientNet-B0/B1/B2, DenseNet121, ViT-S/16 ve DeiT-Small olmak üzere derin öğrenme tabanlı sekiz farklı modelin kemik yaşı tahminindeki performansları karşılaştırılmıştır. Görüntüler, YOLOv11 ile otomatik el bölgesi tespiti, CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) ile kontrast iyileştirme ve Z-skoru normalizasyonu adımlarından geçirilmiştir. Deneylerde RSNA Pediatric Bone Age veri kümesinden 12.599 eğitim ve 1.423 doğrulama görüntüsü kullanılmıştır. Sonuçlara göre, EfficientNet-B1 modeli 7.49 ay ortalama mutlak hata (MAE) ve 0.9417 R² skoru ile en başarılı performansı göstermiştir. EfficientNet ailesinin bileşik ölçekleme yaklaşımı (compound scaling), klasik CNN mimarilerine kıyasla parametre verimliliği ve doğruluk açısından belirgin üstünlük sağlamıştır. Dönüştürücü tabanlı ViT-S/16 modeli ise 8.59 ay MAE değeriyle rekabetçi bir sonuç elde etmiştir. Elde edilen bulgular, modern CNN mimarilerinin kemik yaşı tahmininde uzman radyologlara yakın düzeyde doğruluk sağlayabildiğini ve klinik karar destek sistemlerinde etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kemik yaşı tahmini, Derin öğrenme, EfficientNet, Vision Transformer, Medikal görüntü analizi, Pediatrik radyoloji

1. GİRİŞ

Kemik yaşı değerlendirmesi, çocuklarda iskelet matürasyonunun objektif ölçümünü sağlayan ve pediatrik endokrinolojide yaygın kullanılan bir tanı yöntemidir. Bu değerlendirme,

büyüme bozuklukları, hormonal dengesizlikler, genetik sendromlar ve endokrin hastalıkların teşhisinde kritik önem taşımaktadır. Klinik pratikte en yaygın kullanılan yöntem olan Greulich-Pyle atlası, 1950'lerden beri altın standart olarak kabul edilmektedir [1]. Ancak bu manuel değerlendirme yöntemi, deneyimli bir radyolog için görüntü başına 5-10 dakika gerektirmekte ve gözlemciler arası değerlendirmede 6-12 ay arasında değişen yüksek varyasyon göstermektedir [2]. Bu sübjektiflik ve zaman maliyeti, otomatik kemik yaşı değerlendirme sistemlerine olan ihtiyacı artırmaktadır.

Yapay zekâ ve özellikle derin öğrenme teknolojilerinin medikal görüntü analizinde gösterdiği başarılar, kemik yaşı değerlendirme sürecinin otomasyonunu mümkün kılmıştır. Evrişimli Sinir Ağları (CNN) mimarileri, görüntülerden hiyerarşik özellikler çıkarma yetenekleri sayesinde bu alanda öncü rol oynamıştır. 2017 yılında Radiological Society of North America (RSNA) tarafından düzenlenen Pediatric Bone Age Challenge, bu alandaki araştırmaları hızlandırmış ve standardize edilmiş bir değerlendirme platformu sunmuştur [3].

Literatürde ResNet [4], Inception [5] ve VGG [6] gibi klasik CNN mimarileri ile başarılı sonuçlar elde edilmiş olsa da son yıllarda geliştirilen modern mimariler (EfficientNet, Vision Transformer) henüz kemik yaşı tahmin problemi için kapsamlı olarak değerlendirilmemiştir. EfficientNet mimarisi, Tan ve Le [7] tarafından bileşik ölçekleme yaklaşımıyla önerilmiş ve ImageNet'te son teknoloji sonuçlar elde etmiştir. Görü Dönüştürücü (Vision Transformer, ViT) ise görüntü sınıflandırmada CNN'lere alternatif sunmuştur [8].

Bu çalışmada, RSNA Pediatric Bone Age veri kümesi üzerinde kapsamlı bir kemik yaşı tahmin sistemi geliştirilmiştir. Orijinal veri kümesi 12,611 eğitim ve 1,425 doğrulama görüntüsünden oluşmaktadır. Sistemin temel bileşenleri şunlardır: İlk olarak, YOLOv11 nesne tespit algoritması kullanılarak el radyografilerinden otomatik el bölgesi tespiti yapılmıştır. YOLOv11 ile crop işlemi sonucunda eğitim setinde 12,599 (%99.90), doğrulama setinde 1,423 (%99.86) görüntüde başarılı tespit gerçekleştirilmiş olup, başarısız tespit edilen toplam 14 görüntü veri setinden çıkarılmıştır. Ardından, tespit edilen el bölgelerine CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) kontrast iyileştirme, LANCZOS4 interpolasyonu ile 512×512 piksele yeniden boyutlandırma ve Z-score normalizasyonu ($\mu=122.74$, $\sigma=45.30$) içeren kapsamlı bir ön işleme hattı uygulanmıştır. Veri artırma teknikleri olarak rotasyon ($\pm 15^\circ$), kaydırma, zoom, parlaklık/kontrast ayarı, Gaussian bulanıklaştırma ve gürültü ekleme gibi yöntemler kullanılmıştır. Son olarak, 12,599 eğitim ve 1,423 doğrulama görüntüsü üzerinde ResNet50, ResNet101, EfficientNet-B0/B1/B2, DenseNet121, ViT-S/16 ve DeiT-Small olmak üzere sekiz farklı derin öğrenme modeli eğitilmiş ve karşılaştırmalı performans analizi yapılmıştır.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kemik yaşı tahmin problemi, son yıllarda derin öğrenme çalışmaları yapan araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir. Çalışmanın bu bölümünde, 2021 yılı ve sonrasında yapılmış güncel çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Dönüştürücü Tabanlı Yaklaşımlar

Mao ve diğerleri [9], kemik yaşı analizi için Swin Dönüştürücü (Transformer) mimarisi kullanarak iki aşamalı bir yaklaşım önermiştir. İlk aşamada global özellikler çıkarılmış, ikinci aşamada ise yerel kemik bölgeleri analiz edilmiştir. Model, 4.59 ay MAE ile literatürdeki en iyi

sonuçlardan birini elde etmiştir. Çalışma, dönüştürücü mimarilerinin global bağlamsal ilişkileri yakalama yeteneğinin kemik yaşı tahmininde etkili olduğunu göstermiştir.

Wu ve diğerleri [10], Tanner-Whitehouse 3 (TW3) metodunu Görü Dönüştürücü ile birleştiren SVTNet mimarisini önermiştir. Bu hibrit yaklaşım, klasik tıbbi bilgiyi derin öğrenme yöntemleriyle entegre ederek 7.85 ay MAE değeri elde etmiştir. Çalışma, alan bilgisinin (domain knowledge) derin öğrenme modellerine entegrasyonunun önemini vurgulamıştır.

2.2. Dikkat Mekanizması Kullanan Yaklaşımlar

Chen ve diğerleri [11], dikkat yönlendirmeli ayırıştırıcı bölge konumlandırma (attention-guided discriminative region localization) yaklaşımını kullanarak kemik yaşı tahmini için kritik bölgeleri otomatik olarak tespit eden bir sistem geliştirmiştir. Model, 6.80 ay MAE değeri elde ederken, dikkat haritalarının klinik olarak anlamlı bölgeler olan karpal kemikler ve epifiz bölgelerine odaklandığını göstermiştir. Li ve diğerleri [12], ardışık kritik kemik bölgesi çıkarımı (cascaded critical bone region extraction) kullanan bir derin sinir ağı mimarisi önermiştir. Etiketleme gerektirmeyen (annotation-free) bu yaklaşım, manuel etiketleme olmadan kritik kemik bölgelerini otomatik olarak tespit etmiş ve 5.80 ay MAE değeri elde etmiştir.

2.3. Topluluk ve Çoklu Görevli Öğrenme

Zhang ve diğerleri [13], SMANet (Skeletal Maturity Assessment Network) adlı ensemble yaklaşımı önermiştir. Farklı CNN mimarilerinin (ResNet, DenseNet, EfficientNet) birleştirilmesiyle 6.35 ay MAE elde edilmiştir. Çalışma, model çeşitliliğinin performans artışına katkı sağladığını göstermiştir. Liu ve diğerleri [14], kemik yaşı ve cinsiyet tahminini birleştiren çoklu görevli öğrenme yaklaşımı kullanmıştır. Ortak özellik öğrenme stratejisi, her iki görev için de performans iyileştirmesi sağlamıştır.

2.4. Bölge-Spesifik Yaklaşımlar

Li ve diğerleri [15], CNN tabanlı bilgisayar destekli tanı sistemi geliştirerek farklı kemik bölgelerinin ağırlıklarını adaptif olarak ayarlayan bir yaklaşım önermiştir. Model, 7.60 ay MAE değeri ile rekabetçi bir performans sergilemiştir. Mehta ve diğerleri [16], derin öğrenme çerçevesi içinde transfer öğrenme ve ince ayar stratejilerini kapsamlı olarak değerlendirmiş ve 6.15 ay MAE değeri elde etmiştir. Çalışma, ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş modellerin tıbbi görüntü analizi için etkili bir başlangıç noktası olduğunu göstermiştir.

2.5. Klinik Validasyon Çalışmaları

Hamd ve diğerleri [17], Suudi Arabistan'da retrospektif bir çalışma gerçekleştirerek, derin öğrenme modellerinin farklı etnik gruplarda performansını değerlendirmiştir. Model, 8.20 ay MAE ile bölgesel veri setinde başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Lee ve Lee [18], Greulich-Pyle ve Tanner-Whitehouse metodlarını hibrit bir şekilde birleştiren otomatik sistem geliştirmiştir. Klinik validasyon çalışması, modelin uzman radyologlarla karşılaştırılabilir performans gösterdiğini ortaya koymuştur (6.50 ay MAE). Bowden vd. [19], Kuzey Amerika pediatrik popülasyonunda otomatik kemik yaşı analiz sisteminin validasyonunu gerçekleştirmiş ve gözlemciler arası ve gözlemci içi güvenilirliğin yüksek olduğunu göstermiştir. Zhao vd. [20], yapay zekâ destekli yazılımın okul öncesi

çocuklarda gözlemciler arası ve gözlemci içi değişkenlik üzerindeki etkisini araştırmış ve yapay zekâ sisteminin tutarlılığı önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

2.6. Araştırma Boşluğu

Kapsamlı literatür analizi sonrasında EfficientNet, ViT ve DeiT gibi son dönem mimarilerin kemik yaşı tahmininde sistematik karşılaştırmasının bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca CNN ve dönüştürücü tabanlı modellerin medikal görüntü regresyon problemlerinde detaylı karşılaştırmasının eksik olduğu görülmüştür. Ek olarak çalışmalarının çoğunun yalnızca mutlak performansa odaklandığını ve parametre verimliliği analizinin yapılmadığı görülmüştür. Bu çalışma, bu eksiklikler göz önüne alarak literatürdeki boşlukları kapatmayı ve klinik uygulamalar için pratik öneriler sunmayı hedeflemektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, kemik yaşı tahmin problemi için RSNA Pediatric Bone Age veri kümesi kullanılarak kapsamlı bir derin öğrenme tabanlı sistem geliştirilmiştir. Sistemin temel bileşenleri şu şekilde özetlenebilir: İlk aşamada, 14,036 pediatrik el radyografisi görüntüsünden oluşan RSNA veri kümesi üzerinde YOLOv11 nesne tespit algoritması ile otomatik el bölgesi tespiti gerçekleştirilmiş ve %99.9 başarı oranı ile 14,022 görüntü elde edilmiştir. İkinci aşamada, tespit edilen el bölgelerine CLAHE kontrast iyileştirme (clipLimit=2.0, tileGridSize=8×8), LANCZOS4 interpolasyonu ile 512×512 piksele yeniden boyutlandırma ve Z-score normalizasyonu ($\mu=122.7447$, $\sigma=45.3005$) içeren sistematik bir ön işleme hattı uygulanmıştır. Üçüncü aşamada, eğitim setinin genelleme kapasitesini artırmak için rotasyon, kaydırma, zoom, parlaklık/kontrast ayarı, Gaussian bulanıklaştırma ve gürültü ekleme gibi veri artırma teknikleri kullanılmıştır. Son aşamada, 12,599 eğitim ve 1,423 doğrulama görüntüsü üzerinde ResNet50/101, EfficientNet-B0/B1/B2, DenseNet121, ViT-S/16 ve DeiT-Small olmak üzere sekiz farklı derin öğrenme modeli PyTorch 2.8.0 ve NVIDIA L4 GPU kullanılarak eğitilmiş ve MAE, RMSE ve R^2 metrikleri ile kapsamlı performans değerlendirmesi yapılmıştır.

3.1. Veri Kümesi

Bu çalışmada, Radiological Society of North America (RSNA) tarafından düzenlenen “RSNA Pediatric Bone Age Challenge” veri kümesi kullanılmıştır [3]. Veri seti, 14.036 pediatrik el radyografisi görüntüsünden oluşmaktadır ve 12.611 eğitim ve 1.425 doğrulama olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Tüm görüntüler PNG formatında ve gri tonlamalıdır. Veri setinin temel istatistikleri Çizelge 1’de sunulmuştur.

Görüntülerin teknik özellikleri incelendiğinde, ortalama piksel değeri 122.74 ± 45.30 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, görüntülerin orta-düşük yoğunlukta olduğunu ve önemli miktarda karanlık bölge (arka plan) içerdiğini göstermektedir. Normalizasyon için kullanılacak global parametreler, tüm eğitim veri seti üzerinden hesaplanmış olup, global ortalama (μ) 122.74 ve global standart sapma (σ) 45.30 olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. Veri Seti İstatistikleri

Kategori	Değer
Toplam Görüntü (Training)	12,611
Toplam Görüntü (Validation)	1,425
Toplam Görüntü (Tümü)	14,036
Kız Sayısı (Training)	5,778
Erkek Sayısı (Training)	6,833
Kız Sayısı (Validation)	652
Erkek Sayısı (Validation)	773
Ortalama Kemik Yaşı - Training (ay)	127.32
Ortalama Kemik Yaşı - Training (yıl)	10.61
Ortalama Kemik Yaşı - Validation (ay)	127.16
Ortalama Kemik Yaşı - Validation (yıl)	10.60
Minimum Kemik Yaşı (ay)	1
Maksimum Kemik Yaşı (ay)	228
Standart Sapma - Training (ay)	41.18
Standart Sapma - Validation (ay)	41.72
Medyan Kemik Yaşı - Training (ay)	132.00
Medyan Kemik Yaşı - Validation (ay)	132.00

3.2. Önerilen Yöntem

Önerilen kemik yaşı tahmin sistemi, Görsel 1’de gösterildiği üzere veri ön işleme, YOLOv11 ile el bölgesi tespiti, CNN/Dönüştürü model özgün katmanları ve regresyon çıkışı olmak üzere dört ana bileşenden oluşmaktadır.



Görsel 1. Önerilen kemik yaşı tahmin sisteminin genel mimarisi

3.2.1. YOLOv11 ile El Bölgesi Tespiti

Kemik yaşı tahmin modellerinin girişi olarak sadece el bölgesini kullanmak için Ultralytics YOLOv11 nesne tespit algoritması kullanılmıştır. YOLOv11, tek aşamalı nesne tespit algoritmaları ailesinin en güncel versiyonudur ve C2F modülleri, SPPF katmanı ve PAN yapısı gibi gelişmiş bileşenlere sahiptir.

Model, elle etiketlenmiş sınırlayıcı kutular içeren eğitim seti üzerinde 100 epoch boyunca eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen performans metriklerinden doğruluk %99.93, kesinlik %100.00, duyarlılık %99.93 ve ortalama güven skoru 0.9428 ± 0.0236 olarak ölçülmüştür. Tespit edilen sınırlayıcı kutular 20 piksel padding eklenerek el bileği ve parmak uçlarının tam dâhil edilmesi sağlanmıştır. Eğitim setinde 12.599 (%99.90), doğrulama setinde 1.423 (%99.86) görüntüde başarılı tespit gerçekleştirilmiştir. Başarısız tespit edilen toplam 14 görüntü (%0.10) veri setinden çıkarılmıştır.

3.2.2. Görüntü Ön İşleme Hattı

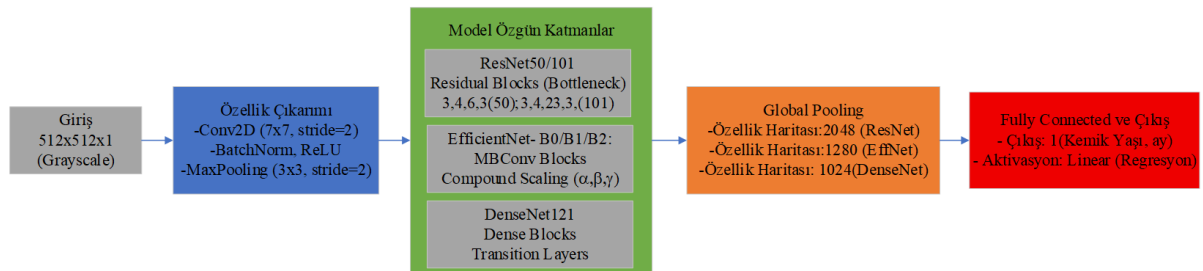
Kapsamlı ön işleme hattı beş ana adımdan oluşmaktadır. Düşük kontrast problemini çözmek için Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) uygulanmış (Kırpma Limiti: 2.0, Izgara Boyutu: 8×8 piksel) ve kontrast ortalama %45.21 oranında artırılmıştır. Tüm görüntüler LANCZOS4 interpolasyonu ile 512×512 piksele yeniden boyutlandırılarak hesaplama verimliliği ve görüntü kalitesi arasında optimal denge sağlanmıştır. Model eğitiminin kararlılığını artırmak için Z-score normalizasyonu uygulanmış olup, $\mu=122.7447$ (global ortalama) ve $\sigma=45.3005$ (global standart sapma) tüm eğitim veri kümesi üzerinden hesaplanmıştır. Denklem 1 ile gösterilmiştir.

$$x_{\text{normalized}} = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

Burada $\mu = 122.7447$ (global ortalama) ve $\sigma = 45.3005$ (global standart sapma) tüm eğitim veri kümesi üzerinden hesaplanmıştır. Sadece eğitim setinde uygulanmak üzere kapsamlı veri artırma teknikleri kullanılmıştır. Bunlar arasında dönme ($\pm 15^\circ$), kaydırma (± 30 piksel), yakınlaştırma ($0.9-1.1x$), parlaklık ayarı (± 0.2), kontrast artırma ($1.3x$), Gaussian bulanıklaştırma (5×5 çekirdek), Gaussian gürültü ($\sigma=10$) ve yatay çevirme ($p=0.5$) yer almaktadır.

3.2.3. CNN Mimarileri

Çalışmada kullanılan CNN mimarilerinin genel çalışma prensibi Görsel 2’de gösterilmektedir. Tüm CNN modelleri benzer bir işleme hattı izlemektedir: Giriş görüntüsü ($512 \times 512 \times 1$ piksel, grayscale), öncelikle özellik çıkarma katmanlarından geçmektedir. Bu katmanlarda, konvolüsyon işlemleri, aktivasyon fonksiyonları ve pooling operasyonları ardışık olarak uygulanarak görüntüden hiyerarşik özellikler çıkarılmaktadır. Özellik haritaları derin katmanlara doğru ilerledikçe düşük seviyeli özelliklerden (kenarlar, dokular) yüksek seviyeli özelliklere (karpal kemikler, epifiz bölgeleri gibi anatomik yapılar) dönüşmektedir. Özellik çıkarımı sonrasında, global havuzlama katmanı ile özellik haritaları tek boyutlu vektöre dönüştürülmekte ve tam bağlantılı katmanlarından geçerek nihai regresyon çıkışına (kemik yaşı tahmini) ulaşmaktadır. Bu çalışmada, ResNet, EfficientNet ve DenseNet olmak üzere üç farklı CNN ailesi kullanılmış olup, her birinin kendine özgü özellik çıkarımı stratejileri bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan CNN mimarilerinin genel akış şeması Görsel 2’de gösterilmektedir.



Görsel 2. CNN mimarilerinin akış şeması.

ResNet: Artık (residual) bağlantılar ile derin ağların eğitimini mümkün kılan mimari kullanılmıştır [4]. Artık bloklar Denklem 2 ile gösterilmiştir.

$$y = F(x, \{W_i\}) + x \quad (2)$$

Burada x girdi, $F(x, \{W_i\})$ artık haritalama, y ise çıktıdır. ResNet50 (23.5M parametre) ve ResNet101 (42.5M parametre) varyantları test edilmiştir.

EfficientNet: Bileşik ölçekleme yaklaşımını kullanan modern bir CNN mimarisi kullanılmıştır [7]. Bileşik ölçekleme formülü Denklem 3 ile gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{depth: } d &= \alpha^\varphi \\ \text{width: } w &= \beta^\varphi \\ \text{resolution: } r &= \gamma^\varphi \\ \alpha \cdot \beta^2 \cdot \gamma^2 &\approx 2 \end{aligned} \quad (3)$$

EfficientNet-B0 (5.3M), B1 (7.8M) ve B2 (9.2M) varyantları kullanılmıştır.

DenseNet: Yoğun bağlantı yapısı kullanan mimari kullanılmıştır [21]. Denklem 4 ile gösterildiği üzere:

$$x_l = H_l([x_0, x_1, \dots, x_{l-1}]) \quad (4)$$

burada $[x_0, x_1, \dots, x_{l-1}]$ önceki tüm katmanların çıktılarının birleştirilmesidir. DenseNet121 (7.6M parametre) kullanılmıştır.

3.2.4. Dönüştürücü Mimarileri

Çalışmada kullanılan dönüştürücü mimarilerinin genel çalışma prensibi Görsel 3'te gösterilmektedir. CNN'lerden farklı olarak, dönüştürücü modelleri görüntüyü konvolüsyon operasyonları yerine öz-dikkat mekanizması ile işlemektedir. İşleme süreci şu adımlardan oluşmaktadır: Giriş görüntüsü ($512 \times 512 \times 1$ piksel), öncelikle sabit boyutlu yamalara bölünmektedir. Her bir yama, lineer bir projeksiyon ile gömme vektörüne dönüştürülmekte ve pozisyon bilgisi eklenmektedir. Bu yama gömmeler, dönüştürücü kodlayıcı bloklarından geçmektedir. Kodlayıcı blokları içerisinde, Çok başlıklı kendi kendine dikkat mekanizması (multi-head self-attention-MSA) sayesinde her yama diğer tüm yamalarla etkileşime girerek global bağlamsal ilişkileri öğrenmektedir. Bu özellik, CNN'lerin yerel alıcı alan yapısının aksine, ilk katmandan itibaren tüm görüntüyü görebilme avantajı sağlamaktadır. Encoder blokları çıkışındaki özellikler, global havuzlama işlemi ile tek boyutlu vektöre dönüştürülmekte tam bağlantı katmanlarından geçerek nihai regresyon çıkışına (kemik yaşı tahmini) ulaşmaktadır. Bu çalışmada, ViT (Vision Transformer) ve DeiT (Data-efficient Image Transformer) olmak üzere iki farklı dönüştürücü mimarisi kullanılmıştır. Dönüştürücü mimarilerinin genel akış şeması Görsel 3'te gösterilmektedir.



Görsel 3. Transformer mimarilerinin akış şeması.

Görü Dönüştürücü (Vision Transformer-ViT): Öz dikkat mekanizması ile global bağlamsal ilişkileri öğrenen mimari kullanılmıştır [8]. ViT formülasyonu denklem 5, 6, 7 ile gösterildiği üzere:

$$z_0 = [x_{\text{class}}; x_p^1 E; x_p^2 E; \dots; x_p^N E] + E_{\text{pos}} \quad (5)$$

$$z'_l = \text{MSA}(\text{LN}(z_{l-1})) + z_{l-1} \quad (6)$$

$$z_l = \text{MLP}(\text{LN}(z'_l)) + z'_l \quad (7)$$

Burada x_p^i görüntü yamalarını, E yama gömme matrisini, E_{pos} pozisyon gömmesini, MSA kendi kendine dikkat mekanizmasını, LN katman normalizasyonu ve MLP çok katmanlı algılayıcıyı temsil eder. ViT-S/16 (22M parametre) kullanılmıştır.

DeiT: Bilgi damıtımı ile veri verimliliğini artıran bir Görsel Dönüştürücü varyantı kullanılmıştır [22].

DeiT, damıtım belirteci ekleyerek Denklem 8 ile gösterilen formülasyonu kullanır:

$$z_0 = [x_{\text{class}}; x_{\text{dist}}; x_p^1 E; \dots; x_p^N E] + E_{\text{pos}} \quad (8)$$

DeiT-Small (22M parametre) kullanılmıştır.

3.3. Eğitim Konfigürasyonu

Tüm modeller PyTorch 2.8.0 kullanılarak NVIDIA L4 GPU üzerinde eğitilmiştir. CNN ve dönüştürücü modelleri için kullanılan eğitim parametreleri Çizelge 2'de detaylı olarak sunulmaktadır.

Çizelge 2. Eğitim Konfigürasyon Parametreleri

Parametre	CNN Modelleri	Dönüştürücü Modelleri
Yığın Boyutu	32	16
Optimize Edici	Adam	AdamW
Başlangıç Öğrenme Oranı	0.001	5×10^{-5}
Öğrenme Oranı Zamanlayıcı	ReduceLROnPlateau (factor=0.5, patience=5)	CosineAnnealing
Kayıp Fonksiyonu	L1Loss (MAE)	L1Loss (MAE)
Maksimum Epoch	50	50
Erken Durdurma	Aktif	Aktif

Transfer öğrenme yaklaşımıyla tüm modeller ImageNet ön eğitilmiş ağırlıklardan başlatılmıştır. Gri tonlama adaptasyonu için RGB yama gömme ağırlıklarının ortalaması Denklem 9 ile alınmıştır.

$$W_{\text{gray}} = \frac{W_R + W_G + W_B}{3} \quad (9)$$

3.4. Değerlendirme Metrikleri

Model performansları şu metriklerle değerlendirilmiştir:

- **Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE):** Tahmin edilen yaş ile gerçek yaş arasındaki mutlak farkların ortalamasıdır. Regresyon problemlerinde modelin genel hatasını ölçmek için yaygın olarak kullanılır. Denklem 10 ile hesaplanır:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - y'_i| \quad (10)$$

- **Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squared Error - RMSE):** Hata karelerinin ortalamasının karekökü alınarak elde edilir. Büyük hatalara karşı daha duyarlıdır. Denklem 11 ile hesaplanır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y'_i)^2} \quad (11)$$

- **Determinasyon Katsayısı (R² Score):** Modelin tahmin gücünü temsil eder; 1'e yaklaştıkça modelin açıklayıcılığı artar. Denklem 12 ile hesaplanır:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - y'_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (12)$$

4. DENEYSEL SONUÇLAR

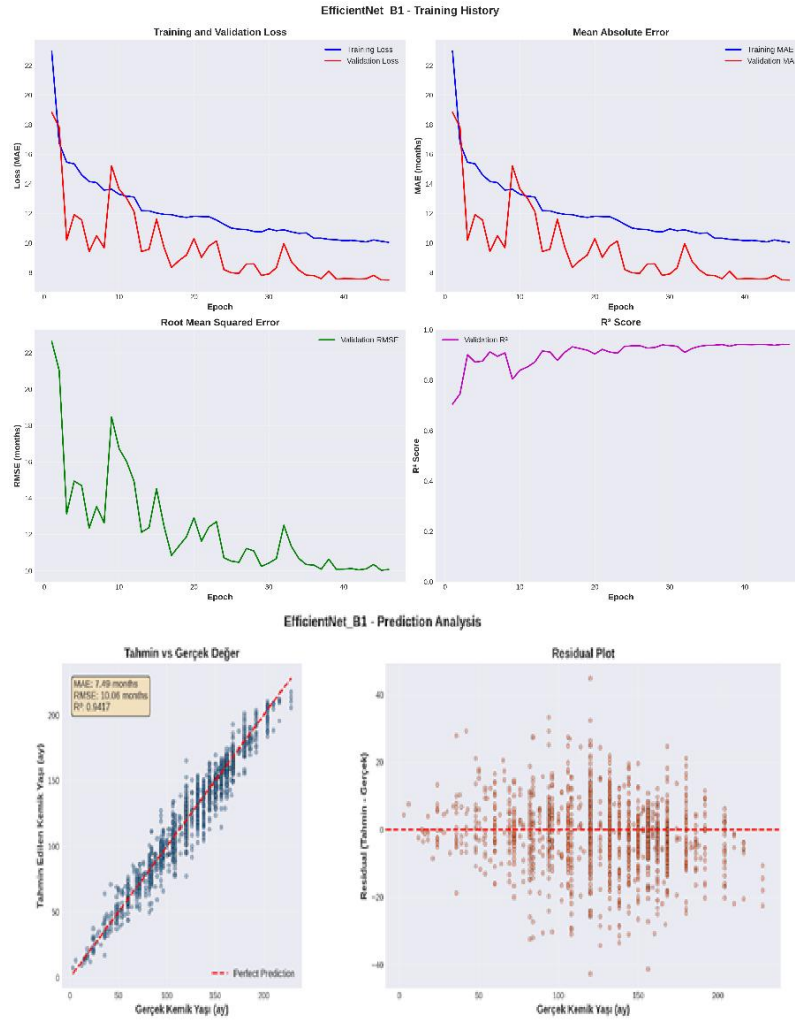
4.1. Genel Performans Karşılaştırması

Sekiz farklı derin öğrenme modelinin performans karşılaştırması Çizelge 3'de sunulmaktadır. EfficientNet-B1 modeli, 7.49 ay MAE ve 0.9417 R² skoru ile en iyi performansı sergilemiştir. EfficientNet-B1 modeli eğitim süreci ve tahmin analizi grafikleri Görsel 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Tüm Modellerin Kapsamlı Performans Karşılaştırması

Model	Mimari Tipi	Param. (M)	MAE (ay)	RMSE (ay)	R ²	Epoch	Süre (dk)
EfficientNet-B1	CNN	7.8	7.49	10.06	0.9417	46	250
EfficientNet-B2	CNN	9.2	7.73	10.12	0.9411	44	263
DenseNet121	CNN	7.6	8.39	10.96	0.9309	49	402
EfficientNet-B0	CNN	5.3	8.48	11.07	0.9296	45	245
ViT-S/16	Dönüştürücü	22.0	8.59	11.34	0.9260	49	118

ResNet50	CNN	23.5	9.81	12.44	0.9110	46	275
ResNet101	CNN	42.5	9.85	12.61	0.9085	49	402
DeiT-Small	Dönüştürücü	22.0	10.11	13.05	0.9021	50	183



Görsel 4. EfficientNet-B1 eğitim süreci ve tahmin analizi

4.2. CNN ve Dönüştürücü Karşılaştırması

CNN ve dönüştürücü mimarileri arasındaki karşılaştırma Çizelge 4'te sunulmaktadır.

Çizelge 4. CNN ve Dönüştürücü Mimarileri Detaylı Karşılaştırma

Metrik	EfficientNet-B1	ViT-S/16	Fark
MAE (ay)	7.49	8.59	+14.7% (CNN lehine)
RMSE (ay)	10.06	11.34	+12.7% (CNN lehine)
R ² Skoru	0.9417	0.9260	-1.7% (CNN lehine)
Parametreler (M)	7.8	22.0	+182% (CNN lehine)
Eğitim Süresi (dk)	250	118	-52.8% (Trans. lehine)
Epoch/Süre (s)	300	141	-53% (Trans. lehine)

ViT-S/16, kendine dikkat mekanizması sayesinde global bağlamsal ilişkileri yakalama konusunda başarılı olmuştur. Ancak, %182 daha fazla parametre kullanması ve %14.7 daha kötü MAE değeri, parametre verimliliği açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Dönüştürücülerin paralel hesaplama yapısı, eğitim süresinde avantaj sağlamaktadır. DeiT-Small modeli, 10.11 ay MAE ile çalışmadaki en kötü performansı sergilemiştir. Bilgi damıtma mekanizması, bu özel problemde beklenen faydayı sağlamamıştır. Bu başarısızlık, limitli veri seti boyutu (12.6K görüntü), regresyon gibi sınıflandırma problem türü uyumsuzluğu ve medikal görüntülerin özel karakteristiklerinden kaynaklanabilir.

4.3. Parametre Verimliliği Analizi

Parametre başına MAE metriği ile modellerin verimlilik sıralaması Çizelge 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 5. Parametre Verimliliği Sıralaması

Sıra	Model	Param. (M)	MAE (ay)	MAE/Param	Verimlilik Notu
1	EfficientNet-B2	9.2	7.73	0.840	En verimli parametre kullanımı
2	EfficientNet-B1	7.8	7.49	0.960	En iyi performans/verimlilik dengesi
3	DenseNet121	7.6	8.39	1.104	İyi denge
4	EfficientNet-B0	5.3	8.48	1.600	Kabul edilebilir
5	ViT-S/16	22.0	8.59	0.390	Düşük verimlilik
6	ResNet50	23.5	9.81	0.417	Düşük verimlilik
7	ResNet101	42.5	9.85	0.232	Çok düşük verimlilik
8	DeiT-Small	22.0	10.11	0.460	Düşük verimlilik

EfficientNet ailesi, parametre verimliliği sıralamasında ilk üç sırayı almıştır. Bu, bileşik ölçekleme yaklaşımının sadece performans değil, aynı zamanda verimlilik açısından da üstün olduğunu göstermektedir.

4.4. Klinik Önemi

EfficientNet-B1'in 7.49 ay MAE değeri, klinik pratikte oldukça başarılı bir sonuçtur. Uzman radyologlar arası gözlemciler arası değişkenlik aralığı 6-12 ay olduğu düşünüldüğünde, model uzman performansının alt sınırına yakın bir doğruluk seviyesindedir. Model: Objektif ve tutarlı değerlendirme sunmaktadır. Görüntü başına <1 saniyede sonuç üretmektedir. Pediatrik endokrinoloji kliniklerine entegre edilebilir seviyededir. %94.17 varyans açıklama gücüne sahiptir ($R^2=0.9417$)

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

5.1. Temel Bulgular

Bu kapsamlı çalışmada, kemik yaşı tahmin problemi için 8 farklı derin öğrenme modeli sistematik olarak değerlendirilmiştir. EfficientNet-B1, 7.49 ay MAE ve 0.9417 R^2 ile en iyi performansı sergilemiş olup, bu sonuç uzman radyolog performansına yakın bir doğruluk seviyesidir. EfficientNet ailesi, bileşik ölçekleme yaklaşımı sayesinde klasik CNN (ResNet,

DenseNet) ve dönüştürücü modellerinden üstün performans göstermiştir. CNN mimarileri, medikal görüntü regresyon problemlerinde dönüştürücülerden daha etkili bulunmuştur. ViT-S/16, EfficientNet-B1'den %14.7 daha kötü MAE değeri sergilemekte ve %182 daha fazla parametre kullanmaktadır. ResNet101'in ResNet50'den daha kötü performans göstermesi, "daha derin her zaman daha iyi değildir" prensibini doğrulamaktadır. Parametre verimliliği açısından EfficientNet ailesi, MAE/parametre oranı sıralamasında ilk üç sırayı almıştır.

5.2. Literatür ile Karşılaştırma

Bu çalışmanın sonuçları, 2021 sonrası literatür ile karşılaştırıldığında (Çizelge 6), orta-üst seviyede yer almaktadır.

Çizelge 6. 2021 ve Sonrası Çalışmalarla Karşılaştırma

Çalışma	Yıl	Yöntem	MAE (ay)	Veri Seti
Önerilen yöntem	2025	EfficientNet-B1	7.49	RSNA
Li vd. [15]	2022	CNN-CAD	7.60	RSNA
Wu vd. [10]	2024	SVTNet (TW3+ViT)	7.85	RSNA
Hamd vd. [17]	2024	CNN (Saudi cohort)	8.20	Local

Bu çalışmada elde edilen 7.49 aylık ortalama mutlak hata değeri, tek model kullanılarak ve cinsiyet bilgisi entegre edilmeden başarılmıştır. En iyi performans gösteren diğer çalışmalar iki aşamalı mimariler, topluluk yöntemleri veya dikkat mekanizmaları kullanmışlardır. Bu yaklaşım tek model kullanması, cinsiyet bilgisini içermemesi, dikkat mekanizması ve çok aşamalı işlem hattı kullanmaması gibi kısıtlamalara rağmen rekabetçi bir performans sergilemektedir.

5.3. Klinik Uygulamalar ve Öneriler

Çalışmanın bulguları doğrultusunda EfficientNet-B1 birincil model olarak önerilmektedir. Bu model, 7.49 ay MAE ile en iyi performansı gösterirken, 7.8 milyon parametre ile optimal model boyutuna ve yüksek açıklama gücüne ($R^2=0.9417$) sahiptir. Düşük kaynaklı ortamlar için EfficientNet-B0 (5.3M parametre, 8.48 ay MAE) mobil veya kenar cihazlarda kullanıma uygundur. Hızlı prototipleme gerektiren durumlarda ViT-S/16 (118 dk eğitim süresi) önerilmektedir. Maksimum performans hedeflendiğinde B0, B1 ve B2 modellerinin birleştirildiği topluluk yaklaşımı ile ortalama mutlak hatanın daha da azaltılabileceği öngörülmektedir.

5.4. Çalışmanın Kısıtlamaları ve Gelecek Öneriler

Çalışmanın bazı kısıtlamaları bulunmaktadır: 12.6 bin eğitim görüntüsü Transformer modelleri için optimal olmayabilir, cinsiyet bilgisi modele entegre edilmemiştir ve sadece RSNA veri seti kullanılmıştır. Gelecek çalışmalarda cinsiyet ve klinik bilgilerin çok kipli girdi (multi-modal input) olarak eklenmesi, radius, ulna ve falanks kemiklerinin ayrı ayrı bölütlenmesi, Grad-CAM görselleştirmeleri ile kritik bölgelerin belirlenmesi ve kemik olgunlaşma skorlaması gibi genişletilmiş problemler üzerinde çalışılması önerilmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu kapsamlı çalışma, kemik yaşı tahmin problemi için modern derin öğrenme mimarilerinin ilk kez sistematik karşılaştırmasını sunmaktadır. EfficientNet-B1 mimarisi 7.49 aylık ortalama mutlak hata ile kemik yaşı tahmini için optimal çözüm olarak önerilmektedir. Model, klinik yerleştirme için gerekli performans, verimlilik ve hız kriterlerini karşılamaktadır. Sonuçlar, modern CNN mimarilerinin özellikle bileşik ölçekleme kullanan EfficientNet'in kemik yaşı tahmininde uzman radyologlara yakın performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Dönüştürücü modelleri rekabetçi alternatifler sunsa da parametre verimliliği açısından CNN'ler medikal görüntü regresyon problemlerinde hala avantajlıdır. Bu çalışma, yapay zekâ destekli kemik yaşı değerlendirme sistemlerinin klinik uygulamalarda kullanılabilirliğini göstermiş ve gelecek araştırmalar için sağlam bir temel oluşturmuştur. Geliştirilen sistem, pediatrik endokrinoloji kliniklerinde karar destek aracı olarak kullanılabilir potansiyele sahiptir.

KAYNAKÇA

- [1] Greulich, W.W. ve Pyle, S.I., Radiographic Atlas of Skeletal Development of the Hand and Wrist, Stanford University Press, Stanford, 1959.
- [2] Bull, R.K., Edwards, P.D., Kemp, P.M., Fry, S. ve Hughes, I.A., Bone Age Assessment: A Large Scale Comparison of the Greulich and Pyle, and Tanner and Whitehouse (TW2) Methods, Archives of Disease in Childhood, 84, 2, 172-173, 1999.
- [3] Halabi, S.S., Prevedello, L.M., Kalpathy-Cramer, J., Mamonov, A.B., Bilbily, A., Cicero, M., Pan, I., Pereira, L.A., Sousa, R.T., Abdala, N., Kitamura, F.C., Thodberg, C.C., Chen, L., Shih, T., Kohli, K., Andriole, J.R., Lungren, M.P., Rubin, D.L., Flanders, J. ve Erickson, B.J., The RSNA Pediatric Bone Age Machine Learning Challenge, Radiology, 290, 2, 498-503, 2019.
- [4] He, K., Zhang, X., Ren, S. ve Sun, J., Deep Residual Learning for Image Recognition, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 770-778, Las Vegas, 2016.
- [5] Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J. ve Wojna, Z., Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2818-2826, Las Vegas, 2016.
- [6] Simonyan, K. ve Zisserman, A., Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, arXiv preprint arXiv:1409.1556, 2014.
- [7] Tan, M. ve Le, Q.V., EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks, 36th International Conference on Machine Learning (ICML), 6105-6114, Long Beach, 2019.
- [8] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J. ve Houlsby, N., An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale, International Conference on Learning Representations (ICLR), 2021.

- [9] Mao, X., Hui, Q., Zhu, S., Du, W., Qiu, C., Ouyang, X. ve Kong, D., Automated Skeletal Bone Age Assessment with Two-Stage Convolutional Transformer Network Based on X-ray Images, *Diagnostics*, 13, 11, 1837, 2023.
- [10] Wu, J., Mi, Q., Zhang, Y. ve Wu, T., SVTNet: Automatic Bone Age Assessment Network Based on TW3 Method and Vision Transformer, *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 34, e22990, 2024.
- [11] Chen, C., Chen, Z., Jin, X., Li, L., Speier, W. ve Arnold, C.W., Attention-Guided Discriminative Region Localization and Label Distribution Learning for Bone Age Assessment, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 26, 3, 1208-1218, 2022.
- [12] Li, Z., Chen, W., Ju, Y., Chen, Y., Hou, Z., Li, X. ve Jiang, Y., Bone Age Assessment Based on Deep Neural Networks with Annotation-Free Cascaded Critical Bone Region Extraction, *Frontiers in Artificial Intelligence*, 6, 1142895, 2023.
- [13] Zhang, Y., Chen, X., Yu, S., Chen, X. ve Zhang, D., SMANet: Multi-Region Ensemble of Convolutional Neural Network Model for Skeletal Maturity Assessment, *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, 12, 7, 3556-3568, 2022.
- [14] Liu, J., Qi, J., Liu, Z., Ning, Q. ve Luo, X., Automatic Bone Age Assessment Based on Intelligent Algorithms and Comparison with TW3 Method, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 25, 8, 2985-2995, 2021.
- [15] Li, S., Liu, B., Li, S., Zhu, X., Yan, Y. ve Zhang, D., A Deep Learning-Based Computer-Aided Diagnosis Method of X-ray Images for Bone Age Assessment, *Complex & Intelligent Systems*, 8, 3, 1929-1939, 2022.
- [16] Mehta, C., Shah, K. ve Patel, A., Deep Learning Framework for Automatic Bone Age Assessment, 2021 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 3093-3096, Mexico, 2021.
- [17] Hamd, Z.Y., Balaha, H.M., Alharbi, M., Alshehri, A., Althobaiti, M., Tsaramirsis, G., Buhari, M., Aljuaid, A. ve Hassan, A., Deep Learning-Based Automated Bone Age Estimation for Saudi Patients on Hand Radiograph Images: A Retrospective Study, *BMC Medical Imaging*, 24, 1, 199, 2024.
- [18] Lee, B.D. ve Lee, M.S., Automated Bone Age Assessment Using Artificial Intelligence: The Future of Bone Age Assessment, *Korean Journal of Radiology*, 22, 5, 792-800, 2021.
- [19] Bowden, J.J., Sloboda, D.M. ve Ulijaszek, S.J., Validation of Automated Bone Age Analysis from Hand Radiographs in a North American Pediatric Population, *Pediatric Radiology*, 52, 1347-1355, 2022.
- [20] Zhao, K., Ma, S., Sun, Z., Liu, X., Zhu, Y., Xu, Y. ve Wang, X., Effect of AI-Assisted Software on Inter- and Intra-Observer Variability for the X-ray Bone Age Assessment of Preschool Children, *BMC Pediatrics*, 22, 1, 644, 2022.
- [21] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L. ve Weinberger, K.Q., Densely Connected Convolutional Networks, *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 4700-4708, Honolulu, 2017.



- [22] Touvron, H., Cord, M., Douze, M., Massa, F., Sablayrolles, A. ve Jégou, H., Training Data-Efficient Image Transformers & Distillation Through Attention, 38th International Conference on Machine Learning (ICML), 10347-10357, Virtual, 2021.

EEG SINYALLERİNDEN EPİLEPSİ TESPİTİ İÇİN CWT–CNN VE TOPLULUK ÖĞRENME YAKLAŞIMI

Yüksek Lisans Öğrencisi, Rumeysa KOÇAK DOĞAN¹, Doç.Dr., Feyza ALTUNBEY ÖZBAY²

¹Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü,
rumeysaa.kocakk@gmail.com – 0009-0007-4146-9293

²Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü,
faltunbey@firat.edu.tr – 0000-0003-0629-6888

ÖZET

Epilepsi, beyin sinir hücrelerinin normal dışı ve ani elektriksel boşalmaları sonucu ortaya çıkan, nöbetlerle karakterize kronik bir nörolojik hastalıktır. Erken tanı ve nöbetlerin otomatik tespiti, hastaların yaşam kalitesini artırmak ve tedavi planlarını optimize etmek açısından önemlidir. Bu çalışmada, EEG sinyallerinden epileptik nöbetlerin yüksek doğrulukla belirlenebilmesi amacıyla, derin öğrenme tabanlı özellik çıkarımı ve makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırmayı birleştiren hibrit bir yaklaşım sunulmuştur. İlk aşamada EEG sinyalleri, Sürekli Dalgacık Dönüşümü (CWT) ile zaman–frekans yapısını görünür kılan iki boyutlu scalogram görsellerine dönüştürülmüştür. Ardından bu görseller, ResNet50 tabanlı Evrişimsel Sinir Ağı (CNN) ile işlenerek derin özellikler elde edilmiştir. Elde edilen derin öznitelikler, sinyallerin istatistiksel ve karmaşıklık tabanlı parametrelerle (band gücü, Hjorth parametreleri, entropiler, fraktal boyutlar vb.) birleştirilmiştir. Elde edilen öznitelik füzyon vektörü, önce Boruta algoritmasıyla ön elemeden geçirilmiş, ardından Özyinelemeli özellik eleme (Recursive Feature Elimination - RFE) yöntemiyle en etkili özellik alt kümesine indirgenmiştir. Sınıflandırma katmanında XGBoost, Random Forest, CatBoost, Stacking Ensemble ve Soft-Voting yaklaşımları değerlendirilmiştir. Modellerin çıktılarına dayalı topluluk yapıları, tekil algoritmaların güçlü yönlerini bir araya getirerek daha dengeli sonuçlar üretmiştir. Deneysel bulgular, Stacking Ensemble modelinin %88.86 doğruluk, %88.88 F1-skoru ve %98.40 AUC ile en yüksek performansı sağladığını; Soft-Voting yönteminin de benzer biçimde kararlılığı artırdığını göstermektedir. ROC ve PR eğrileri, epileptik ve normal sinyallerin yüksek güvenilirlikle ayrılabilirdiğini doğrulamıştır. Sonuç olarak, önerilen CWT–CNN–Ensemble tabanlı yaklaşım, EEG'nin zaman–frekans yapısını derin öğrenme ve topluluk modellerinin güçlü yönleriyle birleştirerek epilepsi tespitinde yüksek doğruluk, istikrar ve genellenebilirlik sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : EEG, Epilepsi, CWT, Derin Öğrenme, Topluluk Sınıflandırma, CNN

1.GİRİŞ

Epilepsi, beyin nöronlarında meydana gelen ani ve kontrolsüz elektriksel boşalmalar sonucu ortaya çıkan ve tekrar eden nöbetlerle karakterize edilen kronik bir sinir sistemi hastalığıdır. Nöbetler sırasında bilinç kaybı, istemsiz kasılmalar, davranış değişiklikleri ve duyuusal bozukluklar gibi geniş bir belirti yelpazesi görülebilmektedir. Hastalığın klinik olarak değerlendirilmesinde Elektroensefalografi (EEG) temel tanı araçlarından biri olup, beyindeki

elektiriksel aktivitenin zamana bağlı değişimini kaydetme imkânı sunar. Ancak EEG sinyalleri doğaları gereği karmaşık, değişken ve gürültüye açıktır. Bu durum, nöroloğun yorumu dayalı değerlendirmesini zorlaştırmakta ve özellikle uzun süreli kayıtların incelenmesi zaman alıcı ve öznel hale gelmektedir. Bu nedenle, epileptik nöbetlerin otomatik olarak tespit edilebilmesi hem zaman kazandırmakta hem de tanısıl doğruluğu artırma potansiyeli taşımaktadır.

Son yıllarda epilepsi tespiti üzerine yapılan alışmalar, EEG sinyallerinin bilgisayar destekli analizine odaklanmıştır. Bu çalışmalarda, istatistiksel ve frekans tabanlı özellik çıkarım yöntemlerinden derin öğrenme temelli modellerle yapılan otomatik temsil öğrenimine kadar geniş bir yöntem yelpazesi denenmiştir. Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform-CWT) kullanılarak EEG sinyallerinin zaman ve frekans bileşenlerinin birlikte incelendiği çalışmaların sayısı artmıştır. Bunun yanında, ResNet, VGG ve LSTM gibi derin öğrenme mimarilerinin EEG'den özellik çıkarımı için kullanıldığı hibrit yaklaşımların performans açısından tekil modellere göre daha başarılı olduğu görölmüştür. Ancak literatürdeki birçok yöntem, yalnızca derin öğrenme veya yalnızca istatistiksel özniteliklere dayanmakta, bu da epileptik sinyallerin karmaşık yapısını tam olarak yansıtamamaktadır.

Bu çalışmada ise literatürdeki bu boşluğu gidermek amacıyla CWT tabanlı EEG görüntüleri ile derin öğrenme tabanlı özellik çıkarımı ve istatistiksel karmaşıklık ölçütlerinin birlikte kullanıldığı hibrit bir sınıflandırma yaklaşımı önerilmiştir. İlk olarak EEG sinyalleri CWT yöntemi ile zaman-frekans görsellerine dönüştürölmüş ve bu görsellerden ResNet50 ile derin özellikler elde edilmiştir. Ardından ham sinyallerden istatistiksel ve karmaşıklık tabanlı özellikler çıkarılmış ve her iki özellik kümesi özellik füzyonu ile bir araya getirilmiştir. Yüksek boyutlu bu öznitelik uzayı Boruta ve RFE yöntemleri ile optimize edilerek gereksiz ve düşük katkılı özellikler elenmiştir. Sınıflandırma aşamasında XGBoost, Random Forest ve CatBoost gibi güçlü modeller kullanılmış ve bu modellerin ıktıları Soft-Voting ve Stacking Ensemble yapılarıyla birleştirilmiştir. Deneyisel sonuçlar, Stacking Ensemble + Soft Voting yaklaşımının en yüksek doğruluk ve genelleme performansını sağladığını göstermektedir.

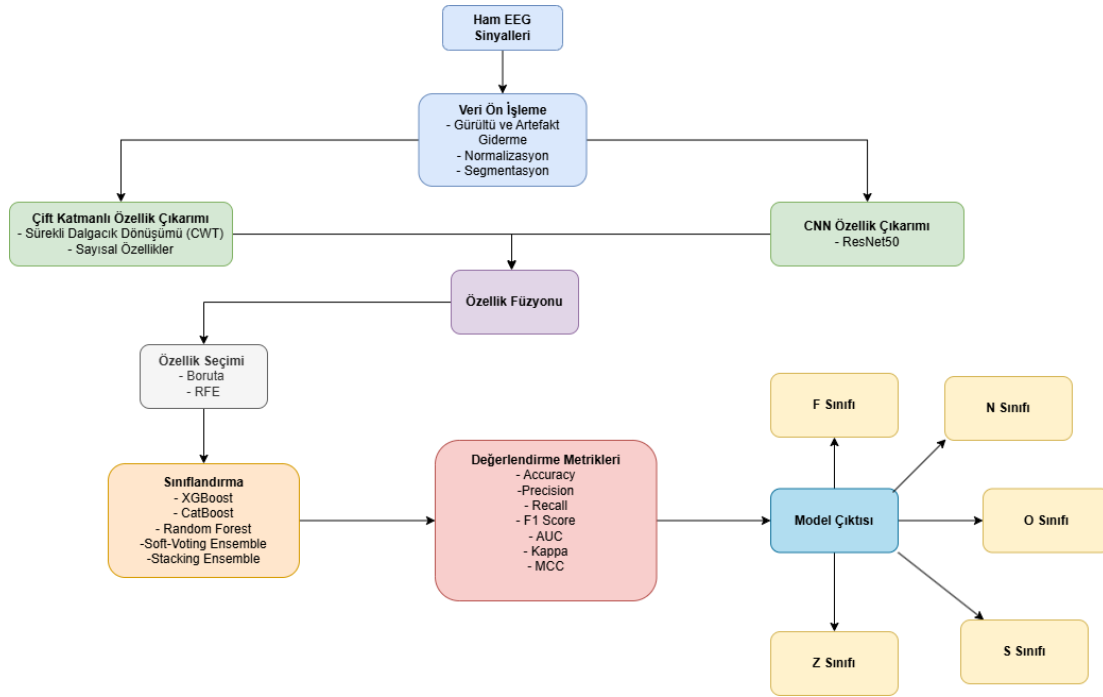
2. LİTERATÜR TARAMASI

Epileptik nöbet tespiti üzerine yapılan araştırmalar, EEG sinyallerinin karmaşık, gürültölü ve durağan olmayan doğası nedeniyle çeşitli yöntemlerin geliştirilmesine odaklanmıştır. İlk dönem çalışmalarda istatistiksel özelliklere dayalı klasik makine öğrenmesi yaklaşımları (SVM, KNN, Decision Tree vb.) yaygın olarak kullanılmıştır. Subasi [1], dalgacık tabanlı özellik çıkarımı ve uzman karışımı (mixture of experts) modeliyle %92 doğruluk elde etmiş, ancak yöntemin genelleme kapasitesi sınırlı kalmıştır. Daha sonraki dönemde derin öğrenme tabanlı modeller bu sınırlamaları aşmak üzere öne çıkmıştır. Acharya ve diğerleri [2], EEG sinyallerinden doğrudan özellik öğrenen 13 katmanlı bir CNN mimarisi geliştirerek %88 doğruluk bildirmiştir. Yildirim ve diğerleri. [3], iki yönlü LSTM tabanlı derin ağ yapısıyla zamansal bağımlılıkları dikkate almış ve %91.5 doğruluk elde etmiştir. Zaman-frekans dönüşümlerine dayalı çalışmalar da önemli başarılar göstermiştir. Zhao ve diğerleri [4], EEG sinyallerini Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform, CWT) yöntemiyle scalogram görsellerine dönüştürerek CNN tabanlı bir sınıflandırma modeli geliştirmiş, %85–87 doğruluk, 0.86 F1-skora ve 0.89 ROC–AUC değerleri raporlamıştır. Alam ve diğerleri [5], CNN özniteliklerini istatistiksel parametrelerle birleştirerek hibrit bir yapı oluşturmuş ve %88.2

doğruluk, 0.88 F1, 0.91 ROC–AUC değerlerine ulaşmıştır. Ayrıca, Faust ve diğerleri [6], dalgacık tabanlı özelliklerin epilepsi tespitinde istatistiksel parametrelerle birlikte kullanılmasının modelin genel başarımını artırdığını göstermiştir. Tzimourta ve diğerleri [7] ise rastgele orman (Random Forest) algoritması ile epilepsi sınıflandırmasında yüksek kararlılık ve açıklanabilirlik sağlamıştır. Bu literatür bulguları, EEG sinyallerinin analizinde tek bir yöntemin yeterli olmadığını, derin öğrenme ve istatistiksel yöntemlerin hibrit biçimde kullanılmasıyla daha yüksek doğruluk ve genelleme elde edilebileceğini göstermektedir.

3. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde epileptik nöbet tespiti için geliştirilen hibrit modelin temel aşamaları, veri toplama, ön işleme, özellik çıkarımı, özellik seçimi ve sınıflandırma adımları altında ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Aynı zamanda önerilen eeg sınıflandırma modelinin iş akışı Görsel 1’de gösterilmiştir.



Görsel 1. EEG Sinyallerinin CWT–CNN Tabanlı Hibrit Model Üzerinden Sınıflandırılma Süreci.

Görsel 1’de ham EEG sinyalleri öncelikle gürültü ve artefaktlardan arındırılmış, ardından normalizasyon ve segmentasyon adımları uygulanarak analiz için uygun hale getirilmiştir. Sinyallerden iki farklı katmanda özellik çıkarımı gerçekleştirilmiştir: CWT ile elde edilen zaman–frekans görselleri üzerinden ResNet50 tabanlı CNN derin özellikleri, buna ek olarak sayısal ve istatistiksel özellikler çıkarılmıştır. Bu özellikler daha sonra özellik füzyonu ile birleştirilmiş ve Boruta ile RFE tabanlı özellik seçimi kullanılarak en anlamlı öznitelikler belirlenmiştir. Seçilen öznitelikler XGBoost, CatBoost, Random Forest, Soft-Voting Ensemble ve Stacking topluluk modelleri ile sınıflandırılmış ve model performansı doğruluk, kesinlik, duyarlılık, F1-Score, AUC, Kappa ve MCC metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir.

3.1 Veri Seti

Çalışmada, epileptik ve epileptik olmayan EEG kayıtlarını içeren Bonn Üniversitesi EEG veri seti kullanılmıştır [8]. Bu veri kümesi, epileptik ve epileptik olmayan bireylerden elde edilen beş farklı sınıfı (F, N, O, S ve Z) içermektedir. Her bir sınıf, 1500 adet EEG sinyalinin oluşmakta ve her bir sinyal, 4096 örnek uzunluğunda bir zaman penceresi ile temsil edilmiştir. Ham sinyallerin bulunduğu .txt dosyaları Görsel 2’de verilmiştir. Veriler 173,61 Hz örnekleme frekansına sahiptir. Bu sayede tüm veriler aynı boyutta işlenmiş, modelin girişlerinde tutarlılık ve karşılaştırılabilirlik sağlanmıştır. Veri setinde F, N, O, S ve Z olmak üzere beş farklı EEG sinyal grubu yer almaktadır. Her biri epilepsiyle ilişkili farklı nörofizyolojik durumu temsil etmektedir:

- Z sınıfı, sağlıklı bireylerden gözleri kapalı durumda kaydedilen EEG sinyallerini içerir.
- O sınıfı, aynı bireylerden gözler açık durumda elde edilen normal EEG sinyallerini temsil eder.
- F sınıfı, epileptik bireylerden nöbet dışı (interiktal) dönemde, nöbetin başladığı veya odaklandığı fokal bölgeden kaydedilen EEG sinyallerini içerir.

Fokal bölge, beyinde nöbetin ortaya çıktığı veya elektriksel aktivitenin yoğunlaştığı odak noktası anlamına gelir. Bu bölgeler, nöbet oluşumuna yatkın alanları temsil eder.

- N sınıfı, aynı dönemde ancak non-fokal (nöbet odak noktası dışında kalan) beyin bölgelerinden alınan EEG sinyallerini içerir.
- S sınıfı, epileptik bireylerin nöbet anına (iktal evre) ait EEG kayıtlarını kapsamaktadır.

Dosya Adı: I1811_Segment_1.txt - Not Defteri	Dosya Adı: I1811_Segment_1.txt - Not Defteri	Dosya Adı: I1811_Segment_1.txt - Not Defteri	Dosya Adı: I1811_Segment_1.txt - Not Defteri	Dosya Adı: I1811_Segment_1.txt - Not Defteri
<pre> 1.4000001121213160954e+01 2.19271927442886251e+01 2.7080774067531278054e+01 3.184471484105447985e+01 2.494569613139714027e+01 2.136370119801136475e+01 2.1762236177990323609e+01 2.454997124182678547e+01 1.928411365508017932e+01 2.4951910695444275e+01 2.269234180512716130e+01 2.22078715778997981e+01 1.495619632089122199e+01 6.51677660771083671e+00 1.798970980189542496e+00 -6.9778511336267162807e+00 1.18064065092566978e+01 -1.72802420491015768e+01 </pre>	<pre> -4.200063302904501945e+01 -3.828256918212558495e+01 -3.585644131635416608e+01 -3.5009176260272133e+01 -3.530923875080609514e+01 -3.664211890210888741e+01 -3.859221743100463449e+01 -3.877031856125168474e+01 -3.380889848107620241e+01 -2.374183478161261854e+01 -1.244529103112419222e+01 -4.87127608400254147e+00 -3.03090424551194208e+00 -5.73864374011131188e+00 -1.002023541074806797e+01 -1.304197623080450300e+01 -1.41863662675665539e+01 -1.53178970810309491e+01 </pre>	<pre> -2.400879437911757464e+01 -2.023540963381508107e+01 -1.862341221248248857e+01 -1.854372318506076959e+01 -1.73814350003864087e+01 -1.308168577366565569e+01 -6.935531748708170241e+00 -1.156807949407645530e-01 8.208860419488301474e+00 1.753754062414544990e+01 2.411620903552927022e+01 2.624545276718271580e+01 2.937491512636511253e+01 4.179390093315182253e+01 6.487073946636436972e+01 8.882934604524876931e+01 9.841176884806301920e+01 8.397052664095194530e+01 </pre>	<pre> 1.000002083173729881e+02 1.739580925848147892e+02 1.535808348094818016e+02 1.855243389412276827e+02 2.891738932082546828e+02 2.18179119785956614e+02 2.183880319147488649e+02 2.22510848579041912e+02 2.38449635845853691e+02 2.651891771281564501e+02 2.977600546848227216e+02 3.11372756877804229e+02 3.410225891344484808e+02 3.812796258355262941e+02 3.900534740206661581e+02 3.910006267819079540e+02 3.983174877520560244e+02 3.915241884551545896e+02 </pre>	<pre> 1.200436571324204316e+01 2.170777994753651186e+01 3.392826814280635261e+01 4.88667568415781470e+01 6.404793589748481963e+01 7.586899382796616464e+01 8.107297795042751432e+01 7.677229726194525483e+01 6.302473795157894898e+01 4.603028723500348462e+01 3.461492143795815934e+01 3.22678703178554660e+01 3.530015486175907199e+01 3.835700286213461196e+01 3.664430186177919797e+01 2.652239262188088631e+01 6.651519448891808572e+00 -1.854752582708375286e+01 </pre>
(a) F Sınıfı	(b) N Sınıfı	(c) O Sınıfı	(d) S Sınıfı	(e) Z Sınıfı

Görsel 2. Bonn EEG Veri Kümesinde Yer Alan Beş Sınıfa (F, N, O, S ve Z) Ait Örnek EEG Sinyali Segmentlerinin Ham (txt) Biçimdeki Görünümü.

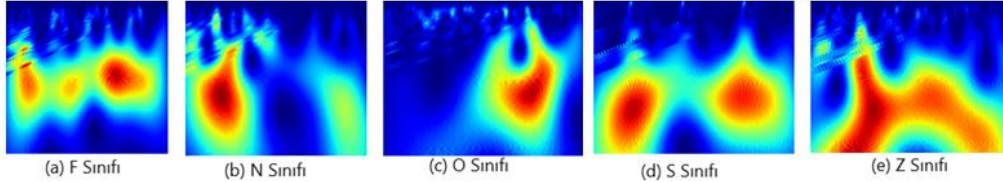
Görsel 2, Bonn EEG veri kümesinde yer alan beş farklı sınıfa (F, N, O, S ve Z) ait EEG sinyallerinin ham (txt) formatındaki örnek segmentlerini göstermektedir. Her sınıf, nöbet öncesi, nöbet sonrası, nöbet anı ve sağlıklı bireyleri temsil eden farklı beyin aktivitelerini içermektedir. Sinyallerin genlik ve dalga biçimlerinde gözlenen farklılıklar, epileptik ve normal beyin durumları arasındaki ayrımın temelini oluşturmaktadır. Bu ham sinyaller, çalışmada özellik çıkarımı ve sınıflandırma aşamalarında kullanılan temel veri kaynağıdır.

3.2 Ön İşleme Adımları

EEG sinyalleri ham hâlde yüksek miktarda gürültü ve artefakt içermektedir. Bu nedenle sinyaller öncelikle bant geçiren filtre (0.5–45 Hz) ile temizlenmiş ve ardından normalize edilmiştir. Gürültü azaltma aşamasında 50 Hz elektriksel gürültü etkisini ortadan kaldırmak amacıyla notch filtreleme uygulanmıştır.

3.3 Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform, CWT)

Görsel 3'te görüldüğü üzere EEG sinyallerinin zamansal ve frekanssal bileşenlerini eş zamanlı olarak analiz edebilmek için Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform, CWT) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle sinyaller iki boyutlu scalogram görsellerine dönüştürülmüştür. Sym5 dalgacı kullanılarak elde edilen bu görseller, EEG'nin zaman-frekans özelliklerini yüksek çözünürlükte yansıtmaktadır.



Görsel 3. EEG Sinyallerinin Sürekli Dalgacık Dönüşümü (Continuous Wavelet Transform, CWT) ile Zaman-Frekans Görselleri

Görsel 3'de yer alan F, N, O, S ve Z sınıfları farklı klinik durumlara karşılık gelen EEG segmentlerini ifade etmektedir. Sınıflar arasındaki renk yoğunluğu ve biçim farklılıkları, özellikle epileptik nöbet anını (S sınıfı) temsil eden sinyallerde belirgin bir enerji artışı ve düzensiz frekans paternleri şeklinde gözlemlenmektedir. Buna karşın Z sınıfı (sağlıklı birey uyanıklık durumu), daha düzenli ve düşük frekans bileşenlerinin baskın olduğu sakin bir spektral yapı sergilemektedir. N ve O sınıfları ise nöbet öncesi ve sonrası geçiş evrelerine ait karma özelliklerde olup, beyin aktivitesinin aşamalı değişimini yansıtmaktadır.

3.4 Derin Özellik Çıkarımı (ResNet50)

Elde edilen CWT görselleri, derin özellik çıkarımı amacıyla ResNet50 mimarisine verilmiştir. Modelin önceden ImageNet üzerinde eğitilmiş ağırlıkları kullanılmış, son katmanlar dondurularak sadece özellik çıkarımı yapılmıştır. Her EEG sinyaline karşılık gelen CWT görselinden 2048 boyutlu derin öznitelik vektörleri elde edilmiştir.

3.5 İstatistiksel ve Karmaşıklık Tabanlı Özellikler

Derin özelliklere ek olarak, EEG sinyallerinin enerji, varyans, ortalama, entropi, Hjorth parametreleri, spektral entropi ve fraktal boyut gibi istatistiksel ve karmaşıklık tabanlı öznitelikleri hesaplanmıştır. Bu aşama, sinyalin hem sayısal hem de dinamik yönlerini temsil etmektedir.

3.6 Özellik Seçimi

Oluşturulan geniş öznitelik uzayı iki aşamada optimize edilmiştir:

1. Boruta Algoritması: Rastgele orman (Random Forest) temelli, önem düzeyine göre öznitelik seçimi yapılmıştır.
2. Özyinelemeli Özellik Eleme (Recursive Feature Elimination-RFE): XGBoost sınıflandırıcısı ile entegre edilerek, en bilgilendirici 100 öznitelik seçilmiştir.

3.7 Sınıflandırma Modelleri

Seçilen öznitelikler XGBoost, Random Forest, CatBoost, Soft-Vote topluluk ve Stacking topluluk modellerinde test edilmiştir.

- Stacking topluluk yapısında meta-öğrenici olarak XGBoost kullanılmıştır.
- Modellerin performansları doğruluk, F1, Kappa ve MCC metrikleriyle karşılaştırılmıştır.

3.8 Değerlendirme Metrikleri

Performans değerlendirmesi için karmaşıklık matrisi, ROC–AUC ve Precision–Recall (PR) eğrileri oluşturulmuştur. Sonuçlar, modelin tüm sınıflarda (F, N, O, S, Z) %88.86 doğruluk, %88.88 F1 ve $AUC > 0.90$ değerlerine ulaştığını göstermiştir.

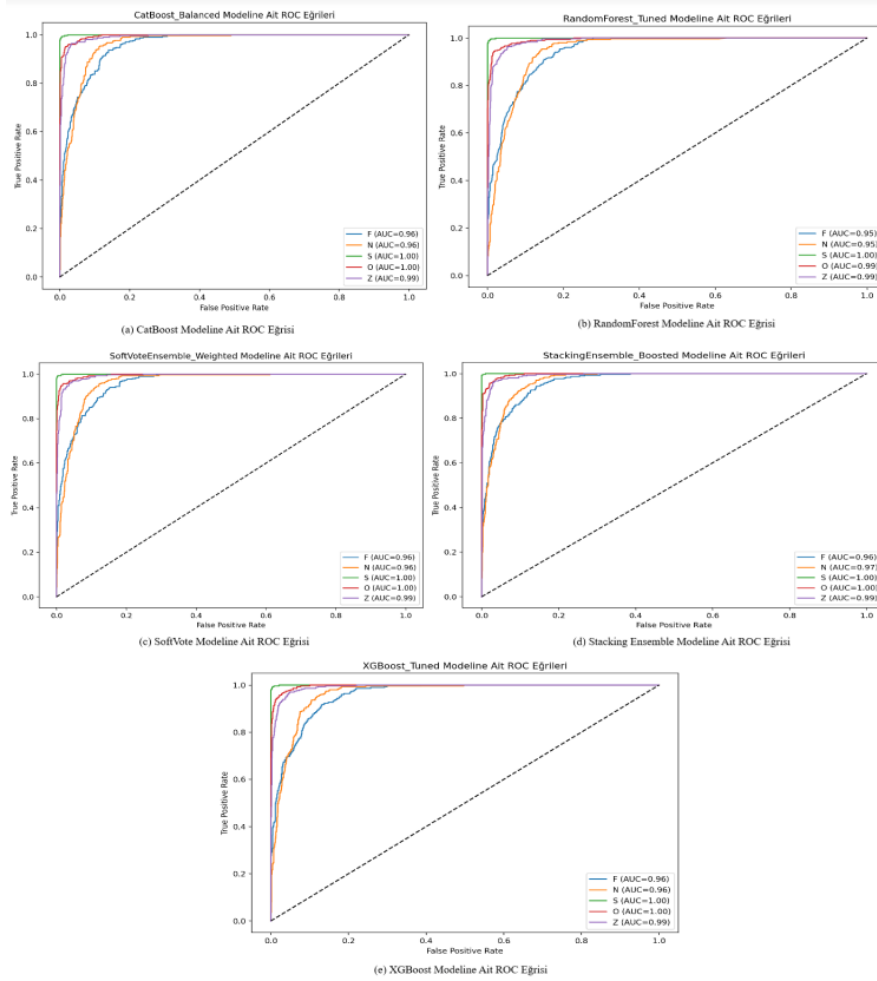
4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada önerilen CWT–CNN–Fusion tabanlı EEG sınıflandırma modeli, epileptik nöbetlerin otomatik tespiti amacıyla değerlendirilmiştir. Modelin başarısı, doğruluk (Accuracy), F1-Skoru, Kappa katsayısı, MCC (Matthews Correlation Coefficient), ROC–AUC ve PR eğrileri gibi çok yönlü performans ölçütleriyle analiz edilmiştir. Geliştirilen hibrit modelin performansının kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi amacıyla sınıflandırma sonuçları hem nicel metriklerle hem de görsel analiz araçlarıyla incelenmiştir. İlk olarak, modelin sınıflar arasındaki ayrım gücünü görmek için karışıklık matrisi kullanılmıştır. Karışıklık matrisi, modelin her sınıfa ait örnekleri ne ölçüde doğru sınıflandırdığını ve hangi sınıflar arasında karışma eğilimi olduğunu açıkça göstermektedir. Elde edilen sonuçlarda epileptik nöbet sınıfının (S) yüksek doğrulukla tespit edildiği, buna karşın nöbet öncesi (F) ve nöbet sonrası (O) sınıflarında geçiş dönemlerinden kaynaklanan kısmi karışmalar gözlemlenmiştir. Bu durum, epilepsiye özgü sinyal örüntülerinin özellikle zaman geçiş fazlarında birbirine yakın spektral özellikler taşımasından kaynaklanmaktadır.



Modelin ayırım performansı, Görsel 5’te verilen ROC eğrileri ile de değerlendirilmiştir. ROC eğrileri, yanlış pozitif oranına karşı doğru pozitif oranını göstererek modelin ayırt edicilik kapasitesini ortaya koymaktadır. Elde edilen ROC–AUC değerlerinin tüm sınıflarda 0.90’ın üzerinde olması, geliştirilen yaklaşımın sınıflar arasında güçlü bir ayırım başarısı sergilediğini

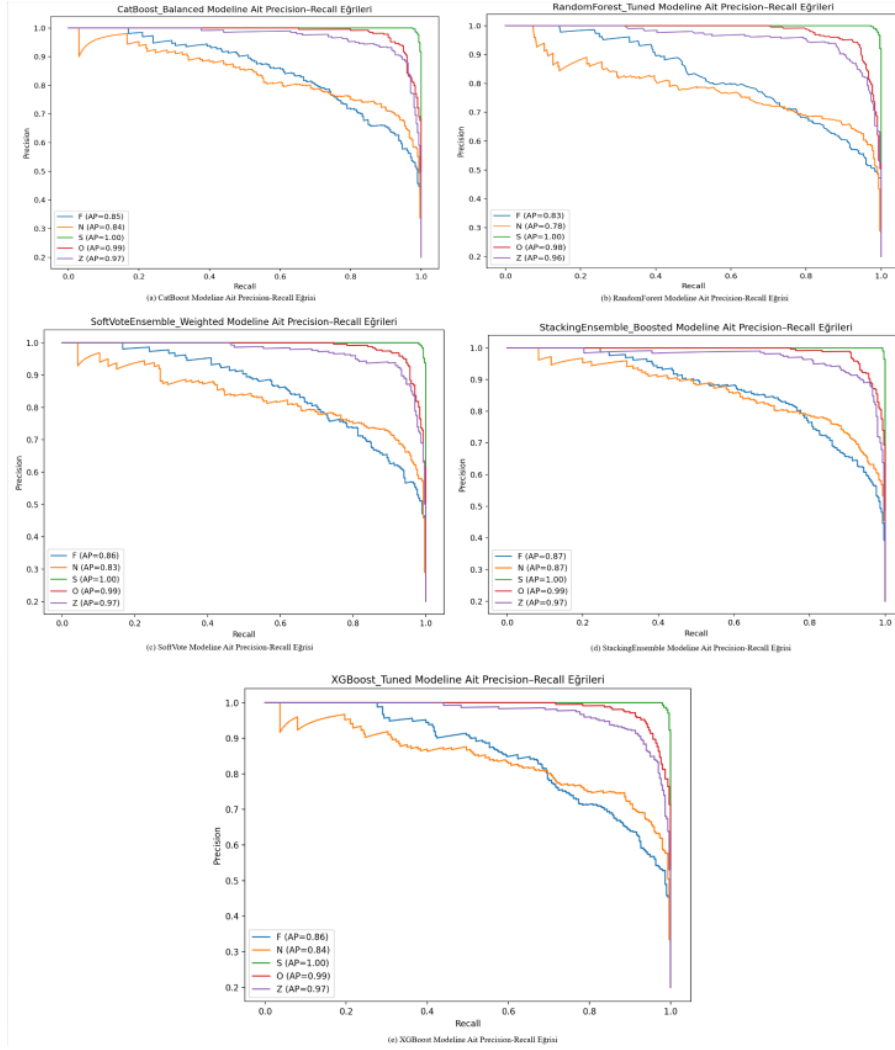
göstermektedir. Özellikle Stacking topluluk modeli, diğer tüm sınıflandırıcılarla karşılaştırıldığında daha dengeli ve yüksek bir AUC değeri üretmiştir.



Görsel 5. Farklı Sınıflandırma Modellerine ait ROC Eğrileri.

Görsel 5'te ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrileri, her sınıf için yanlış pozitif oranına (FPR) karşı doğru pozitif oranını (TPR) göstermektedir. Yüksek AUC değerleri, modelin ayırt etme kapasitesinin güçlü olduğunu göstermektedir. Elde edilen ROC-AUC değerlerinin tüm sınıflar için 0.90'ın üzerinde olması, modelin epileptik ve epileptik olmayan sinyalleri yüksek güvenilirlikle ayırabildiğini göstermektedir. Özellikle Stacking topluluk modeli, AUC bakımından diğer sınıflandırıcılara kıyasla daha dengeli sonuçlar vermiştir.

Görsel 6'da gösterilen Precision-Recall eğrileri ise özellikle dengesiz sınıf durumlarında modelin pozitif örnekleri ne kadar doğru yakaladığını değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir. Çıktılar, epileptik sinyallerin hem yüksek kesinlik hem de yüksek duyarlılık ile tespit edildiğini göstermektedir. Bu sonuç, modelin özellikle yanlış negatifleri düşük tutarak klinik açıdan riskli olabilecek nöbet atlama olasılığını azalttığını göstermektedir.



Görsel 6. Modellerin Precision-Recall (Kesinlik-Duyarlılık) Eğrileri

Görsel 6'da modelin özellikle epileptik sınıfları yüksek duyarlılık ve kesinlik ile tespit ettiğini göstermektedir. PR (Precision-Recall) eğrileri ise, modelin dengesiz sınıf dağılımlarında pozitif sınıfları tespit etme başarısını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, modelin epileptik sinyalleri yüksek kesinlik ve duyarlılık oranlarıyla yakalayabildiğini göstermiştir. Bu durum, klinik uygulamalarda yanlış negatiflerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Son olarak, tüm sınıflandırma modellerinin karşılaştırmalı başarı değerleri doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru bakımında Çizelge 1 ve 2'de gösterildiği gibi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Bu çizelgelere göre Stacking Ensemble modeli %88.86 doğruluk, %88.88 F1-skoru ve genel olarak en dengeli hata oranları ile en başarılı yapı olarak belirlenmiştir. CatBoost ve Soft-Voting yöntemi birbirine yakın performans sergilerken, XGBoost epileptik sınıfında yüksek başarı göstermesine rağmen diğer sınıflarda nispeten değişken sonuçlar üretmiştir. Random Forest ise kararlı fakat ortalama düzeyde bir performans göstermiştir. Ayrıca Çizelge 8'de yöntemlerin grafiksel gösterimi sunulmuştur.

Çizelge 1. EEG Sınıflandırma Modellerinin Performans Karşılaştırması

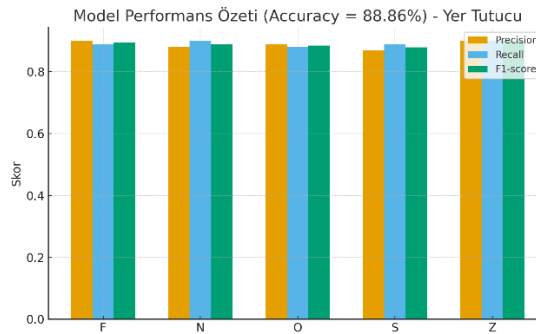
Model	doğruluk	macro_f1	weighted_f1	auc_macro	auc_weighted	kappa	mcc
Stacking topluluk	%88.86	%88.88	%88.88	%98.40	%98.40	%86.08	%86.09
SoftVote topluluk	%88	%88	%88	%98.17	%98.17	%85	%85.01
CatBoost	%88	%87.99	%87.99	%98.18	%98.18	%85	%85.02
XGBoost	%87.20	%87.23	%87.23	%98.20	%98.20	%84	%84.01
Random Forest	%86	%85.99	%85.99	%97.64	%97.64	%82.50	%82.53

Çizelge 1’de EEG sinyallerinin sınıflandırılmasında kullanılan farklı makine öğrenmesi modellerinin performans metrikleri karşılaştırılmıştır. En yüksek doğruluk ve F1 skoruna sahip model Stacking Ensemble olmuştur (%88.86 doğruluk, %88.88 F1). Bu sonuç, birden fazla sınıflandırıcının birleştirilmesinin epileptik ve normal EEG sinyallerini ayırt etmede daha dengeli ve güvenilir bir performans sunduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Sınıflandırma Modellerinin Performans Değerleri

Model	F1(F)	F1(N)	F1(O)	F1(S)	F1(Z)	Macro AVG	Accuracy
CatBoost	0.7878	0.7562	0.9404	0.9933	0.9264	0.8799	0.8800
RandomForest	0.7518	0.7156	0.9371	0.9932	0.9073	0.8599	0.8600
XGBoost	0.7561	0.7508	0.9493	0.9933	0.9164	0.8723	0.8720
SoftVote topluluk	0.7762	0.7594	0.9529	0.9933	0.9233	0.8802	0.8800
Stacking topluluk	0.8028	0.7834	0.9461	1.0000	0.9139	0.8888	0.8887

Çizelge 2’de, modellerin her EEG sınıfı (F, N, O, S, Z) için elde ettiği F1-skorları ve genel doğruluk değerleri verilmiştir. Stacking topluluk modeli, özellikle F ve S sınıflarında en yüksek F1-skorlarını (0.8028 ve 1.0000) elde ederek genel performansta öne çıkmıştır. Bu sonuç, modelin sınıflar arası dengeyi koruyarak epileptik sinyalleri yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermektedir.



Görsel 7. Model Performans Özeti (Precision–Recall–F1)

Görsel 7’de, her bir sınıf (F, N, O, S, Z) için modelin kesinlik (precision), duyarlılık (recall) ve F1-skoru değerlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Sonuçlar, modelin sınıflar

arasında dengeli bir performans sergilediğini ve sınıflandırma başarısının genel olarak yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle S ve Z sınıflarında F1-skorunun daha yüksek olduğu görülmekte olup, bu durum modelin epileptik aktiviteyi ayırt etmede güçlü bir genelleme kabiliyetine sahip olduğunu desteklemektedir.

Bu değerlendirmeler bir arada ele alındığında, önerilen hibrit yapının yalnızca yüksek doğruluk değil, aynı zamanda sınıflar arası tutarlılık, genellenebilirlik ve klinik güvenilirlik açısından da güçlü bir performans sunduğu görülmektedir.

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, EEG sinyallerinden epileptik nöbetlerin otomatik tespiti için CWT tabanlı zaman-frekans dönüşümü, CNN tabanlı derin öznitelik çıkarımı (ResNet50) ve istatistiksel-karmaşıklık temelli özellik mühendisliği yöntemlerini bütünleştiren hibrit bir yaklaşım önermektedir. Elde edilen sonuçlar, epilepsi tespitinde geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk ve genelleme kapasitesine sahip bir modelin geliştirilebileceğini göstermiştir. Yapılan deneysel analizlerde Stacking Ensemble modeli %88.86 doğruluk, %88.88 F1 skoru, %98.40 AUC ve %86.09 MCC değeriyle en yüksek performansı göstermiştir. Bu bulgu, birden fazla sınıflandırıcının güçlü yönlerini birleştiren ensemble modellerinin epilepsi tespitinde güvenilir bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle CatBoost ve Soft-Vote Ensemble modelleri de benzer doğruluk oranlarına ulaşmış, ancak Stacking Ensemble modeli Kappa ve MCC metriklerinde daha dengeli sonuçlar üretmiştir. Bu durum, geliştirilen modelin klinik uygulanabilirliği açısından güçlü bir genelleme kabiliyetine sahip olduğunu göstermektedir [9, 10]. Ayrıca ROC-AUC değerlerinin tüm sınıflar için 0.90'ın üzerinde olması, yöntemin epileptik ve epileptik olmayan EEG sinyallerini yüksek güvenilirlikle ayırabildiğini kanıtlamaktadır. Karışıklık matrisi analizleri, modelin epileptik (S) ve normal (Z) sinyalleri yüksek doğrulukla sınıflandırdığını; ancak nöbet öncesi (F) ve nöbet sonrası (O) fazlarda kısmi karışıklıklar yaşandığını göstermiştir. Bu durum, söz konusu evrelerdeki spektral benzerliklerin sınıflandırma sürecinde zorluk oluşturduğunu desteklemektedir [11].

Sonuç olarak, EEG sinyallerinin derin-istatistiksel füzyonuna dayalı bu hibrit yaklaşım, epilepsi tanısında hem yüksek doğruluk hem de klinik güvenilirlik açısından güçlü bir alternatif sunmaktadır. Çalışma, epilepsi tespitinde CWT + CNN + Topluluk Öğrenme tabanlı bütünleşik bir yöntemin etkinliğini ortaya koyarak literatürdeki boşluğu önemli ölçüde doldurmuştur. Modelin başarısı, hibrit özellik mühendisliği, görsel dönüşüm ve topluluk öğrenme stratejilerinin birbirini tamamlayıcı etkisini açıkça göstermektedir. Gelecek çalışmalarda model performansının artırılması için farklı dalgacık temsilleri (ör. Morlet, Mexican Hat), genişletilmiş EEG veri setleri ve gürültü azaltma filtrelerinin optimizasyonu önerilmektedir. Ayrıca, LSTM veya Transformer tabanlı modellerin entegrasyonu ile zaman bağımlı örüntülerin daha derinlemesine öğrenilmesi hedeflenebilir [3, 5]. Bu yönüyle çalışma, yalnızca akademik literatüre metodolojik bir katkı sunmakla kalmamış; aynı zamanda klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önemli bir altyapı oluşturmuştur.

KAYNAKÇA

- [1] Subasi, A., “EEG signal classification using wavelet feature extraction and a mixture of expert model,” *Expert Systems with Applications*, vol. 32, no. 4, pp. 1084–1093, 2007. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2006.01.034>
- [2] Acharya, U. R., Oh, S. L., Hagiwara, Y., Tan, J. H., and Adeli, H., “Deep convolutional neural network for the automated detection and diagnosis of seizure using EEG signals,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 100, pp. 270–278, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.09.013>
- [3] Yildirim, O., Baloglu, U. B., Tan, R. S., Ciaccio, E. J., and Acharya, U. R., “A novel wavelet sequence based on deep bidirectional LSTM network model for ECG signal classification,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 96, pp. 189–202, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2018.09.007>
- [4] Zhao, W., et al., “Epileptic Seizure Detection Using Continuous Wavelet Transform and CNN,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TBME.2022.3172854>
- [5] Alam, M., et al., “Hybrid CNN and statistical feature fusion for epileptic seizure detection,” *Sensors*, vol. 23, no. 17, p. 7583, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s23177583>
- [6] Faust, O., Acharya, U. R., Adeli, H., and Adeli, A., “Wavelet-based EEG processing for computer-aided seizure detection and epilepsy diagnosis,” *Seizure*, vol. 26, pp. 56–64, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2015.01.012>
- [7] Tzimourta, K. D., et al., “A robust random forest-based methodology for epileptic seizure classification,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 43, pp. 157–167, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.12.015>
- [8] A. Reigns, “Epileptic Seizure EEG Dataset with CWT Images,” Kaggle Datasets, 2025. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/alexreigns14/finaldata>. (Erişim Tarihi: 27.01.2025)
- [9] Khan, A., Ahmed, M., and Farooq, O., “EEG-based epileptic seizure detection using hybrid deep learning models,” *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 82, p. 104540, 2023.
- [10] Dastgoshadeh, A., and Rezaei, M., “An ensemble learning approach for seizure detection using optimized wavelet features,” *Neural Computing and Applications*, vol. 33, pp. 14231–14244, 2021.
- [11] Zhang, Y., et al., “EEG-based preictal and postictal state classification using deep hybrid networks,” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 102–113, 2024.

KALP HASTALIĞI TAHMİNİNDE KAN VE DİĞER MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI PERFORMANS ANALİZİ

Melek Selcan KAYMAKÇI ¹, Doç. Dr. Hasan Hüseyin GÜL ², Doç. Dr. Melih AĞRAZ ³

¹ Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, melekselcan00@gmail.com 0009-0002-1487-4465

² Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, hasan.huseyin@giresun.edu.tr 0000-0001-9905-8605

³ Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, melih.agraz@giresun.edu.tr 0000-0002-6597-7627

ÖZET

Kalp hastalıkları, dünya genelinde ölüm oranlarının en yüksek olduğu hastalık gruplarından biridir. Erken teşhis, hastalığın yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, kalp hastalığı tahmini için farklı makine öğrenmesi algoritmalarının (Logistic Regression, Random Forest, K-Nearest Neighbours, Super Learner, Multilayer Perceptron ve Kolmogorov-Arnold Network) performansları karşılaştırılmıştır. UCI veri tabanından elde edilen kalp hastalığı veri seti üzerinde yapılan analizlerde, doğruluk, duyarlılık, özgüllük, F1 skoru ve kesinlik gibi performans metrikleri değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, en yüksek doğruluk oranı %92 ile Random Forest algoritması tarafından elde edilmiştir. Ayrıca, açıklanabilir yapay zeka tekniklerinden SHAP ve LIME kullanılarak, modellerin hangi değişkenleri temel alarak tahmin yaptığı şeffaf şekilde analiz edilmiştir. Geliştirilen modellerin kullanıcı odaklı uygulanabilirliğini göstermek amacıyla bir R-Shiny web uygulaması geliştirilmiş ve karar destek sistemi olarak kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu çalışma, makine öğrenmesi ve açıklanabilir yapay zeka yöntemlerinin sağlık alanında güvenilir ve yorumlanabilir tahmin sistemleri oluşturmak için etkin araçlar sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, KAN, SHAP, LIME, Kalp Hastalıkları.

1. GİRİŞ

Kalp hastalığı dünyada en çok ölüme neden olan hastalıklardan biridir. Ölüm oranı bu kadar yüksek olan bir hastalığın erken tedavisi hayat kurtarabilir. Bu nedenle kalp hastalıklarının erken teşhisi büyük önem taşır. Bu nedenle kalp hastalıklarından kaynaklanan ölümleri azaltmak için hızlı, ekonomik ve etkili bir yöntem geliştirilmelidir. Bu nedenle makine öğrenimini kullanarak güvenilir ve hızlı bir algılama tekniği bulmak önemlidir.

Literatür incelendiğinde görülür ki Olaniyi ve ark. [1], kalp hastalığı tahmini için yapay sinir ağına dayalı üç aşamalı bir yöntem geliştirmiş ve %88,89 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Mohan ve ark. [2] ise geleneksel makine öğrenimi tekniklerini kullanmış, ayrıca makine öğrenimi süreci için bir özellik seçme yöntemi önererek %88,07 doğruluk oranına

ulaşımlardır. Dwivedi ve ark. [3], geleneksel makine öğrenimi yöntemlerinde çapraz doğrulama uygulayarak, K-En Yakın Komşular algoritması ile %85 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Singh ve Kumar [4], karışıklık matrisine dayalı analizle %87 doğruluk oranına ulaşımlardır. Khurana ve ark. [5], kullandıkları yöntemlerle en düşük %85 ve en yüksek %99 arasında değişen doğruluk oranları bildirmişlerdir. Gudadhe ve ark. [6], Çok Katmanlı Algılayıcı ve Destek Vektör Makinesi temelli bir mimari geliştirerek %80,41 doğruluk oranı elde etmişlerdir. Buna karşılık, Kahramanlı ve Allahverdi [7], hibrit sinir ağı yaklaşımıyla %87,4 doğruluk oranına ulaşımlardır. Chandrasekhar ve ark. [8], çeşitli parametre ayarları ve çapraz doğrulama prosedürleri uygulayarak Logistic Regression ve AdaBoost yöntemlerini kullanmış; sırasıyla %90,16 ve %89,67 doğruluk oranları elde etmişlerdir. Deepika ve Balaji [9], kalp hastalığı tahmininde özellik seçimi için optimize edilmiş bir denetimsiz yöntem önermiş ve Çok Katmanlı Algılayıcı (Multilayer Perceptron) algoritması ile %94,28 doğruluk oranına ulaşımlardır. Benzer şekilde, Bhart ve ark. [10], derin öğrenme tabanlı bir yaklaşım kullanarak %94,2 doğruluk oranı elde etmişlerdir.

Bu çalışmada, kalp hastalığının varlığını veya yokluğunu tahmin etmeye yönelik makine öğrenimi tabanlı bir model önerilmiştir. Yakın dönemde geliştirilen Kolmogorov-Arnold Ağı algoritması, hem geleneksel hem de derin öğrenme modellerini tamamlayıcı nitelikte kullanılmış ve ilk kez Kalp Hastalığı veri setine uygulanmıştır. Özellikle dengesiz ve sınırlı boyutlu biyomedikal veri kümeleriyle çalışırken, yüksek performanslı ve güvenilir modeller geliştirmek amacıyla literatürde sıklıkla veri artırma, özellik çıkarma ve açıklanabilir yapay zeka (XAI) yaklaşımlarının birlikte kullanılması önerilmektedir. Örneğin, Agraz ve ark. [11], MixUp tabanlı veri artırma yöntemini otomatik kodlayıcı mimarisiyle entegre ederek RNA-Seq verileri için bir ML-GAP analiz modeli önermiştir. Bu yaklaşım, hem yüksek doğruluk oranı hem de güçlü yorumlanabilirlik özellikleri sunan bir sistemle sonuçlanmıştır. Benzer şekilde, bu çalışmada da kalp hastalığını etkileyen değişkenlerin göreceli önem düzeylerini belirlemek hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, model çıktıları şeffaf bir biçimde yorumlayabilmek amacıyla SHAP algoritması kullanılmıştır. Ayrıca, bireysel düzeydeki kararların daha anlaşılır hâle getirilmesi amacıyla LIME algoritması ile entegre çalışan R-Shiny tabanlı bir web uygulaması geliştirilmiştir. Sonuç olarak, yüksek doğruluk ve yorumlanabilirlik özellikleri sergileyen bir karar destek sistemi sunulmuş; böylece klinik uygulamalarda kullanılabilirliğe sahip bir model ortaya konmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri ve Ön İşlemler

Ham veriler Uci Machine Learning: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/45/heart+disease> sayfasından elde edilmiştir [12]. Orijinal veri seti 76 değişken içermektedir ancak yapılan değerlendirmeler sonucunda 14 değişkenin analize dahil edilmesinin yeterli olacağı görülmüştür. Ayrıca, seçilen bu değişkenlerin daha önceki literatür çalışmalarında da öne çıkarıldığı tespit edilmiştir. Değişkenlerin ayrıntılı açıklamaları Çizelge 1’de sunulmaktadır.

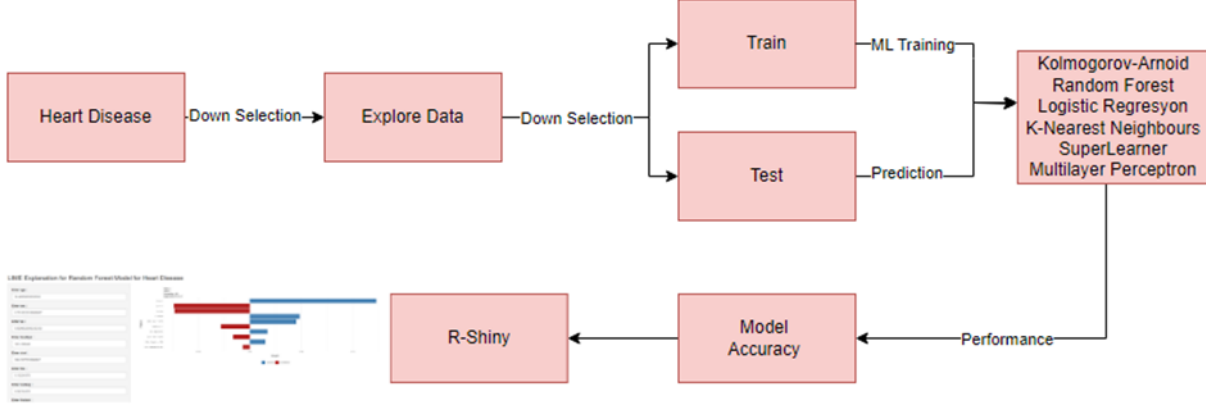
Çizelge 1. Değişken ve Etiketleri

Değişken	Açıklama	Çıktılar
#age	Kişinin yaşı	Yıl olarak
#sex	Kişinin cinsiyeti	Erkek, kadın
#cp	'Chest Pain' Yaşanan göğüs ağrısı	typical angina: tipik anjina, atypical angina: atipik anjina, non-anginal pain: anjinal olmayan ağrı, asymptomatic: asemptomatik
#trestbps	Dinlenme halinde iken ölçülen kan basıncı	Hastaneye geldiğinde yapılan ölçüm, mm Hg
#chol	'cholesterol'	Kişinin mg/dl cinsinden kolesterol ölçümü
#fbs	'fasting blood sugar' Kişinin açlık kan şekeri	>120 mg/dl
#restecg	Dinlenme halindeki elektrokardiyografik ölçümü	Normal: normal, having ST-T wave abnormality: ST-T dalga anormallığı var, showing probable or definite left ventricular hypertrophy: Estes kriterlerine göre olası veya kesin sol ventrikül hipertrofisi var
#thalch	Kişinin ulaştığı maksimum kalp atış hızı	Ölçüm
#exang	'exercise induced angina' Egzersize bağlı göğüs ağrısı veya rahatsızlık hissi	TRUE: var, FALSE: yok
#oldpeak	Dinlenmeye göre egzersizin neden olduğu ST depresyonu	'ST' EKG grafiğindeki konumlarla ilgilidir.
#slope	(eğim) Tepe egzersiz ST segmentinin eğimi	upsloping: yukarı eğimli, flat: düz, downsloping: aşağı eğimli
#ca	Ana damar sayısı	0-3
#thal	Talyum taramasından elde edilen sonuçlardır ()	Normal, fixed defect, reversable defect
#num	Kalp hastalığı olup olmadığı	1: var , 0: yok

Bu çalışmada, veri ön işleme aşamasında eksik değerlerin tamamlanması ve normalleştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenimi modellerinin performansını artırmak amacıyla, farklı ölçeklere sahip değişkenlerin yeniden ölçeklendirilmesinde Z-skoru standardizasyon yöntemi kullanılmıştır.

2.2. Makine Öğrenmesi Metotları

Bu çalışmada, kalp hastalığı tahmininin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla geleneksel ve yeni makine öğrenmesi yöntemleri kullanılmıştır. Görsel 1’de makine öğrenmesi yöntemine ait akış şeması verilmektedir.



Görsel 1. Makina öğrenmesi akış diyagramı.

Görsel 1’deki adımlara göre, ham verinin ön işleme sürecinden geçirilmesinin ardından veri kümesi eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Daha sonra, makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak doğruluk değerleri hesaplanmıştır. Son aşamada ise elde edilen sonuçlara dayalı olarak bir R-Shiny uygulaması geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, kalp hastalığını tahmin etmek amacıyla Kolmogorov-Arnold Ağları (KAN) yöntemi ilk kez kullanılmıştır. Ayrıca, Random Forest (RF), Lojistik Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (KNN), SuperLearner (SL) ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) gibi diğer makine öğrenmesi yöntemlerinden de yararlanılmıştır. MLP 1 yönteminde, beş nöron içeren tek gizli katman kullanılırken, MLP 2 yönteminde her biri beş nöron içeren iki gizli katman kullanılmıştır.

Makine öğrenmesi yöntemleri arasında RF, çok sayıda karar ağacından oluşan bir yöntem olup sınıflandırma problemlerinde yüksek doğruluk sağlamaktadır. LR, sınıflandırma olasılıklarını sigmoid aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla hesaplamaktadır. KNN, benzer örneklerin çok boyutlu uzayda birbirine yakın konumlandığını varsayarak en yakın komşulara dayalı tahminler yapmaktadır. SL ise farklı algoritmaları bir araya getirerek aşırı uyum riskini azaltmakta ve özellikle küçük örneklerde daha güvenilir tahminler sunmaktadır. MLP ileri beslemeli sinir ağlarının FNN bir türüdür. Veri tek yönlü olarak aktarılır; giriş, gizli ve çıkış katmanlarından oluşur. Tek gizli katmana sahip FNN’ler MLP olarak adlandırılmaktadır.

KAN ise regresyon ve sınıflandırma problemleri için kullanılan bir yöntemdir. Kolmogorov-Arnold temsil teoremine dayanarak karmaşık çok değişkenli fonksiyonları daha basit tek değişkenli fonksiyonlara ayırır. Yorumlanabilirliği yüksek olan bu yapı, özellikle yüksek doğruluk gerektiren durumlarda avantaj sağlamaktadır. MLP’den farklı olarak, KAN’da aktivasyon fonksiyonları nöronlarda değil ‘kenarlarda’ konumlanmakta ve spline fonksiyonlar

olarak öğrenilmektedir. Bu yaklaşım, yüksek doğruluk gerektiren problemlere etkili bir çözüm sunmaktadır.

2.3. SHAP VE LIME

Model tahminleri, özelliklerin bu tahminlere ne kadar katkıda bulunduğunu belirlemek için Açıklanabilir Yapay Zeka (XAI) yöntemlerini kullanır. Özelliklerin önem sırası, algoritmaların karar verme yeteneği için büyük önem taşımaktadır. Ortaya çıkan sonuçlar, modelin doğruluğunu etkileyen temel faktörler hakkında kapsamlı bilgi sağlar ve bu bilgiler sonraki yinelemeleri iyileştirmek için kullanılabilir. SHAP (SHapley Eklemeli Açıklamalar) ve LIME (Yerel Yorumlanabilir Modelden Bağımsız Açıklamalar), özelliklerin önemini değerlendirmek için sıklıkla kullanılan XAI yöntemleridir. Bu teknikler, model çıktılarını etkileyen farklı özelliklerin göreceli önemini değerlendirmek için karar ağaçları, sinir ağları ve doğrusal modeller gibi farklı model türleri ile birlikte kullanılır [13].

SHAP, her bir girdi özelliğinin bir modelin tahminine ne kadar katkıda bulunduğunu ölçen, yaygın olarak kullanılan bir XAI yöntemidir [14]. Her özelliğe bir Shapley değeri atamak için oyun teorisindeki kavramlardan yararlanır ve bu da tahmin üzerindeki marjinal etkisini yansıtır. Modele özgü tekniklerin aksine, SHAP modelden bağımsızdır ve bağımsız yorumlanabilir bir çerçeve olarak işlev görür. SHAP, belirli bir örnek için en etkili değişkenleri belirleyerek, karmaşık bir kara kutu modelinin davranışını simüle edebilir [15]. Bireysel özelliklerin genel tahmin sonucunu nasıl etkilediğinin net ve sayısal bir temsili sunar.

LIME, bir makine öğrenimi modelinin sonuçlarını yorumlanabilir hale getirmek için kullanılan bir yöntemdir. Herhangi bir makine öğrenimi modelinin tahminlerini doğru bir şekilde açıklayabilen bir algoritmadır [16]. LIME'in iki ana özelliği vardır: yorumlanabilir gösterim ve yerel doğruluk. Yorumlanabilir temsil, girdi değişkenleri ve sonuçlar arasında niteliksel bir ilişki kurar. Yerel doğruluk, modelin performansının tahmin edilen örneğe göre ne kadar güvenilir olduğunu ifade eder [15]. LIME'in temel amacı, modelin kapsayıcı çalışmasından ziyade tahminin neden belirli bir durumda yapıldığını açıklamaktır. Bunu, karmaşık bir modelin yerel bir bölümüne daha basit bir model (örneğin doğrusal regresyon) uygulayarak başarır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

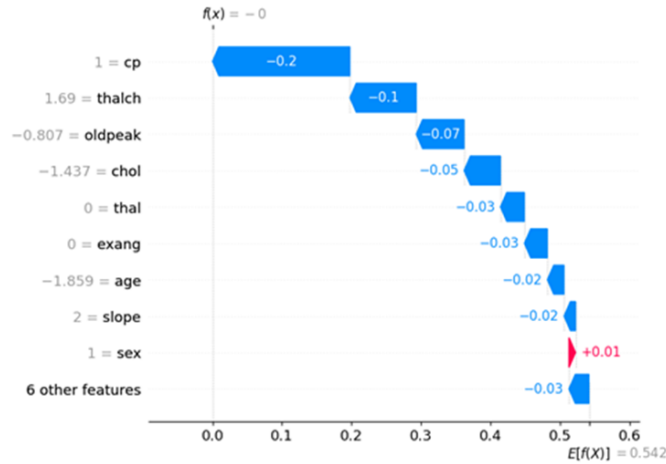
Bu çalışma, kalp hastalığı tahmini için çeşitli makine öğrenimi algoritmalarını karşılaştırmıştır. Random Forest yöntemi %92 doğrulukla en iyi sonucu vermiştir. MLP yöntemi, gizli katman sayısını artırarak doğruluk oranını %78'den %82'ye yükseltebilmiştir. Çalışma, RF'nin kalp hastalığı sınıflandırmasında etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2. Kalp Hastalığı Veri Kullanılarak Elde Edilen Makine Öğrenmesi Metotlarının Sonuçları

Method Used	Accuracy	Recall	F1 skor	Precision	Specificity
LR	0.8614	0.8073	0.7989	0.8019	0.7867
RF	0.9151	0.9240	0.9150	0.9150	0.8829
KNN	0.8270	0.8170	0.8219	0.8270	0.7886
SL	0.8297	0.8693	0.8291	0.8296	0.7805
MLP 1	0.7826	0.8073	0.8148	0.8224	0.7467
MLP2	0.8207	0.8257	0.8451	0.8654	0.8133

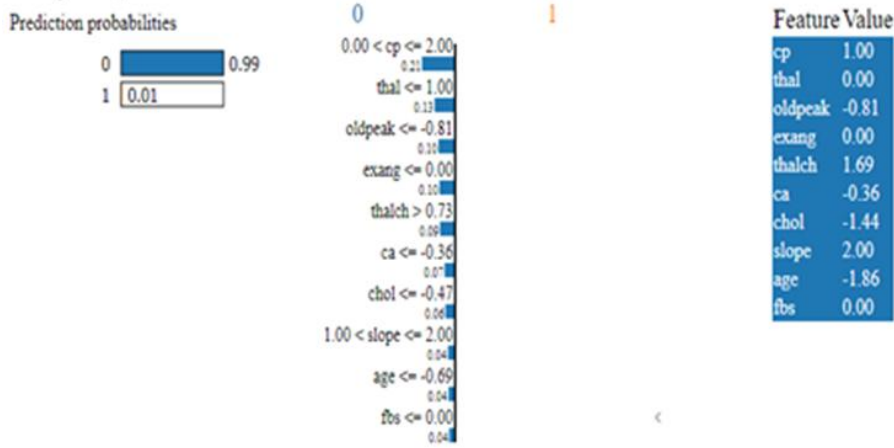
Çizelge 2'ye göre, kalp hastalığı veri setinde en düşük doğruluk oranı %82 ile KAN ve LR yöntemlerine aittir; en yüksek doğruluk oranı ise %92 ile RF yöntemine aittir. Bu sonuçlar, RF yönteminin doğruluk, duyarlılık ve diğer kriterler açısından daha başarılı olduğunu göstermektedir.

Buna ek olarak, kalp hastalığını etkileyen en etkili özellikler SHAP ile analiz edilmiştir ve kalp hastalığı ile özellikler arasındaki ilişkiyi gösteren SHAP grafiği Şekil 4'te sunulmuştur. SHAP, veri setinin daha gelişmiş bir özetini görmemizi sağlayan açıklayıcı bir makine öğrenimi algoritmasıdır [17]. Bu algoritma, verilen bir örnek üzerinde bir modelin tahminine hangi özelliklerin katkıda bulunduğunu gösterir. Görsel 2 incelendiğinde, cp, oldpeak, thal ve thalch girdilerinin karar vermede diğerlerine göre daha etkili olduğu görülmektedir.



Görsel 2. Ağırlıklı SHAP grafiğinde kalp hastalığı olup olmama durumu ile özellikler arasındaki ilişkini

Makine öğrenimi modellerinin karar verme süreçlerini daha şeffaf hâle getirmek, sağlık gibi kritik alanlarda önemlidir. Bu bağlamda, LIME algoritması, bireysel tahminlerin hangi özelliklerden nasıl etkilendiğini detaylı bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır. Bu, modelin bir örnek üzerindeki kararının mantığını yorumlamayı mümkün kılar. Bu amaçla, LIME algoritması test veri setindeki ilk hasta örneğine uygulanmış ve aşağıda Görsel 3'te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.



Görsel 3. İlk hastanın kalp hastalığı olup olmadığını belirlemek için kullanılan kriterleri içeren LIME tablosu.

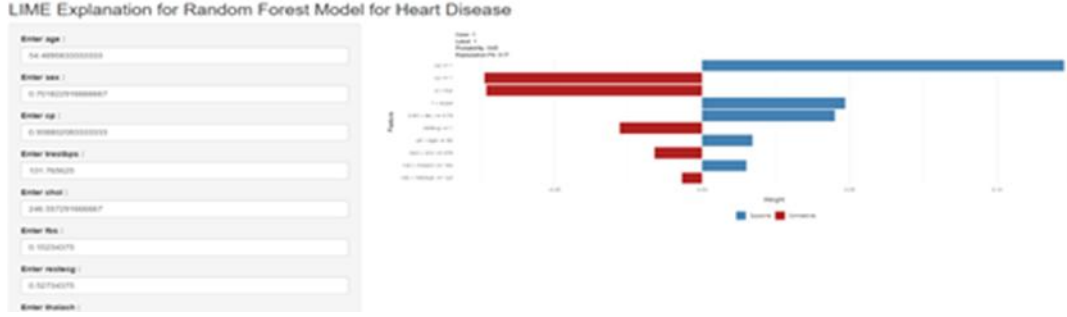
Görsel 3, bu kişinin kalp hastalığına sahip olmama olasılığının %99 olduğunu göstermektedir. Tahmin sürecinde, thal (normal), chol (düşük kolesterol) ve cp (tipik angina) değişkenlerinin karar üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Model, bireyin neredeyse tüm özelliklerinin hastalık olasılığı üzerinde azaltıcı bir etki yapması nedeniyle kalp hastalığına sahip olmadığını sonucuna varmıştır. Bu, modelin tahmininin güvenilirliğini desteklemektedir.

Çalışmanın nihai amacı, geliştirilen modeli yalnızca teorik bir yapı olmaktan çıkarıp, kullanıcılar tarafından pratikte erişilebilir ve kullanılabilir bir karar destek sistemine dönüştürmektir. Bu doğrultuda, bireylerin kendi verilerini girerek kalp hastalığı riskleri hakkında bilgi edinebilecekleri R-Shiny tabanlı bir web uygulaması geliştirilmiştir.

Benzer Shiny uygulamalarına literatürde de rastlanmaktadır. Örneğin, Agraz ve ark. [18], ROC eğrisi analizini kullanıcı dostu hale getiren ve ChatGPT ile etkileşimli çalışan CERA adında bir R-Shiny uygulaması geliştirmiştir. Göksülük ve ark. [19] ise kullanıcıların ROC eğrisi analizlerini kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmelerini sağlayan easyROC adında bir web aracı oluşturmuştur.

Geliştirilen uygulamanın kullanıcı arayüzü Görsel 4'te gösterilmektedir. Kullanıcılar, uygulamada ilgili değişkenlere ait değerleri girdiklerinde, sistem kalp krizi olasılığını hesaplamakta ve her bir değişkenin bu riski ne ölçüde etkilediğini yorumlanabilir bir şekilde sunmaktadır. Bu sayede hem uzman hem de uzman olmayan kullanıcılar model sonuçlarını anlayabilir ve değerlendirebilir. Uygulamaya aşağıdaki bağlantıdan erişilebilmektedir:

<https://datascience.shinyapps.io/heart/> .



Görsel 4. İlk hastanın kalp hastalığı olup olmadığını belirlemek için kullanılan kriterleri içeren LIME tablosu.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, kalp hastalığı tahmini için çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları karşılaştırılmış ve en yüksek doğruluk oranı Random Forest (RF) yöntemi ile elde edilmiştir. Ancak çalışma yalnızca sınıflandırma başarısına odaklanmamış, aynı zamanda modelin verdiği kararların yorumlanabilirliği de ele alınmıştır. Bu amaçla, SHAP (SHapley Additive exPlanations) ve LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) gibi Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemleri kullanılmıştır. Böylece, modelin hangi değişkenlere dayanarak karar verdiği hem genel düzeyde hem de bireysel hasta bazında şeffaf bir şekilde ortaya konmuştur.

Çalışmanın öne çıkan katkılarından biri, literatürde ilk kez KAN algoritmasının bu veri setine uygulanmış olmasıdır. KAN modelinin doğası gereği yorumlanabilir olması, modelin karar verme süreçlerinin daha ayrıntılı ve açık bir şekilde incelenmesine olanak tanımıştır. Ayrıca SHAP ve LIME'in birlikte kullanılması, modelin değişkenlere verdiği önem derecesinin çok yönlü olarak anlaşılmasını sağlamış ve tıbbi yorumlanabilirlik düzeyini artırmıştır.

Elde edilen model yalnızca teorik bir yapıda kalmamış, R-Shiny tabanlı bir web uygulaması geliştirilerek pratik kullanım imkânı sağlanmıştır. Bu web uygulaması sayesinde, kullanıcılar kendi verilerini girerek kalp krizi riski hakkında bilgi edinebilmektedir. Ayrıca, uygulama her bir değişkenin risk üzerindeki etkisini görsel olarak sunmakta ve bu sayede sağlık profesyonelleri ve bireysel kullanıcılar için anlaşılır ve erişilebilir bir karar destek sistemi işlevi görmektedir.

Çalışmanın sınırlılıkları arasında veri setinin nispeten küçük olması ve yalnızca tek bir popülasyona ait verilerden oluşması yer almaktadır. Bu durum, modelin genellenebilirliğini sınırlamakta ve farklı hasta gruplarında test edilme gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca kullanılan veri seti açık erişim olduğundan, güncellik, veri kalitesi ve ölçüm çeşitliliği açısından bazı eksiklikler barındırabilir. Bunun yanında, çalışmada derin öğrenme tabanlı modellerin karşılaştırmaya dahil edilmemesi, mevcut değerlendirme kapsamını daraltan bir başka faktördür.

Gelecek çalışmalarda, modelin genellenebilirlik sorunu, veri setinin büyütülmesi ve farklı hasta gruplarından elde edilen verilerle test edilmesiyle azaltılabilir. Ayrıca, derin öğrenme tabanlı modellerin performansı karşılaştırmalı olarak değerlendirilebilir ve daha karmaşık yapılarla tahmin doğruluğu artırılabilir. Geliştirilen R-Shiny uygulaması, daha fazla kullanıcı verisi ile zenginleştirilerek gerçek zamanlı geri bildirim sağlayan bir platforma dönüştürülebilir. Son olarak, LIME ve SHAP gibi XAI yöntemlerinin yanı sıra anchors ve counterfactual explanations gibi alternatif açıklama tekniklerinin entegrasyonu, model kararlarının daha geniş bir perspektiften değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu doğrultuda, makine öğrenmesi tabanlı ve açıklanabilir sistemlerin önümüzdeki yıllarda sağlık alanında güvenilirliği, etkinliği ve yaygın uygulanabilirliği artırarak önemli bir rol oynaması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] E. O. Olaniyi, O. K. Oyedotun and K. Adnan, “Heart diseases diagnosis using neural networks arbitration,” **International Journal of Intelligent Systems and Applications**, vol. 7, no. 12, pp. 72–79, 2015.
- [2] S. Mohan, C. Thirumalai and G. Srivastava, “Effective heart disease prediction using hybrid machine learning techniques,” **IEEE Access**, vol. 7, pp. 81542–81554, 2019.
- [3] A. K. Dwivedi, “Performance evaluation of different machine learning techniques for prediction of heart disease,” **Neural Computing and Applications**, vol. 29, pp. 685–693, 2018.
- [4] A. Singh and R. Kumar, “Heart disease prediction using machine learning algorithms,” in **2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICE3)**, 2020, pp. 452–457. [Online]. Available: [\[https://doi.org/10.1109/ICE348803.2020.9122958\]](https://doi.org/10.1109/ICE348803.2020.9122958)(<https://doi.org/10.1109/ICE348803.2020.9122958>)
- [5] P. Khurana, S. Sharma and A. Goyal, “Heart disease diagnosis: Performance evaluation of supervised machine learning and feature selection techniques,” in **2021 8th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)**, 2021, pp. 510–515, IEEE.
- [6] M. Gudadhe, K. Wankhade and S. Dongre, “Decision support system for heart disease based on support vector machine and artificial neural network,” in **2010 International Conference on Computer and Communication Technology (ICCT)**, 2010, pp. 741–745, IEEE.
- [7] H. Kahramanli and N. Allahverdi, “Design of a hybrid system for the diabetes and heart diseases,” **Expert Systems with Applications**, vol. 35, no. 1–2, pp. 82–89, 2008.
- [8] N. Chandrasekhar and S. Peddakrishna, “Enhancing heart disease prediction accuracy through machine learning techniques and optimization,” **Processes**, vol. 11, no. 4, p. 1210, 2023.

- [9] D. Deepika and N. Balaji, “Effective heart disease prediction using novel MLP-EBMDA approach,” **Biomedical Signal Processing and Control**, vol. 72, p. 103318, 2022.
- [10] R. Bharti, A. Khamparia, D. Gupta, S. Pande and P. Singh, “Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning,” **Computational Intelligence and Neuroscience**, vol. 2021, Article ID 8387680, 2021. doi: 10.1155/2021/8387680.
- [11] M. Agraz, D. Goksuluk, P. Zhang, B. R. Choi, R. T. Clements, G. Choudhary and G. E. Karniadakis, “ML-GAP: Machine learning-enhanced genomic analysis pipeline using autoencoders and data augmentation,” **Frontiers in Genetics**, vol. 15, p. 1442759, 2024.
- [12] UCI Machine Learning Repository, “Heart Disease Data Set,” University of California, Irvine, 1988. [Online]. Available: [\[https://archive.ics.uci.edu/dataset/45/heart+disease\]](https://archive.ics.uci.edu/dataset/45/heart+disease)(<https://archive.ics.uci.edu/dataset/45/heart+disease>)
- [13] T. R. Ramesh *et al.*, “Predictive analysis of heart diseases with machine learning approaches,” **Malaysian Journal of Computer Science**, pp. 132–148, 2022.
- [14] N. G. Rezk, S. Alshathri, A. Sayed, E. El-Din Hemdan and H. El-Behery, “XAI-Augmented voting ensemble models for heart disease prediction: A SHAP and LIME-based approach,” **Bioengineering**, vol. 11, no. 10, p. 1016, 2024.
- [15] S. M. Lundberg and S. I. Lee, “A unified approach to interpreting model predictions,” in **Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS)**, vol. 30, 2017.
- [16] V. Vimbi, N. Shaffi and M. Mahmud, “Interpreting artificial intelligence models: A systematic review on the application of LIME and SHAP in Alzheimer’s disease detection,” **Brain Informatics**, vol. 11, p. 10, 2024. [Online]. Available: [\[https://doi.org/10.1186/s40708-024-00222-1\]](https://doi.org/10.1186/s40708-024-00222-1)(<https://doi.org/10.1186/s40708-024-00222-1>)
- [17] M. T. Ribeiro, S. Singh and C. Guestrin, “Why should I trust you? Explaining the predictions of any classifier,” in **Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining**, 2016, pp. 1135–1144.
- [18] D. Goksuluk, S. Korkmaz, G. Zararsiz and A. E. Karaagaoglu, “easyROC: An interactive web-tool for ROC analysis using R,” **The R Journal**, vol. 8, no. 2, pp. 213–230, 2016. [Online]. Available: [\[https://digitalcommons.unl.edu/r-journal/492/\]](https://digitalcommons.unl.edu/r-journal/492/)(<https://digitalcommons.unl.edu/r-journal/492/>)



[19] M. Agraz, C. Mantzoros and G. E. Karniadakis, “ChatGPT-Enhanced ROC Analysis (CERA): A shiny web tool for finding optimal cutoff points in biomarker analysis,” **PLOS ONE**, vol. 19, no. 4, p. e0289141, 2024.

NEW LOMAX–WEIBULL DAĞILIMI İÇİN PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

MELEK SELCAN KAYMAKÇI ¹, Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL ²

¹ Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, meleksselcan00@gmail.com 0009-0002-1487-4465

² Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, hasan.huseyin@giresun.edu.tr 0000-0001-9905-8605

ÖZET

Dağılımlar, belirsizliklerin modellenmesi ve verilerin istatistiksel özelliklerinin incelenmesinde temel araçlar arasında yer almaktadır. Klasik dağılımlar; doğa olayları, mühendislik sistemleri ve sosyal bilimlerde karşılaşılan değişkenlerin tanımlanmasında önemli bir rol alırlar. Ancak klasik dağılımlar, çoğu zaman sınırlı parametre yapıları nedeniyle gerçek dünyadaki karmaşık olguları tam olarak yansıtamaz. Klasik dağılımlar parametre tahmininde sıkça kullanılsa da sınırlı parametre sayıları nedeniyle yeterli esneklik sunmaz. Bu yüzden genelleştirme ve dönüşümler yoluyla geliştirilen yeni dağılım aileleri, daha geniş uygulama alanları ve daha doğru tahminler sağlamaktadır.

Bu çalışmada, Weibull dağılımını temel alan New Generalized Lomax ailesinin yeni bir alt dağılımı olan beş parametrelili New Lomax–Weibull (NLW) üzerine odaklanılmış ve geniş kapsamlı bir parametre tahmini gerçekleştirilerek başarılı sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. NLW dağılımının en çok olabilirlik, en küçük kareler, ağırlıklı en küçük kareler, Cramér-von-Mises ve Anderson Darling tahmin edicileri teorik olarak elde edilmiştir. Elde edilen tahmin ediciler bir Monte Carlo simülasyon çalışmasıyla farklı parametre ve örnek çapları altında, yan ve hata kare ortalaması kriterlerine göre performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan simülasyon sonucunda genel olarak en iyi tahmin edicinin en çok olabilirlik tahmin edicisi olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Parametre tahmini, New Lomax Weibull dağılımı, En çok olabilirlik, en küçük kareler, Anderson Darling.

1. GİRİŞ

Sıcaklık, basınç, nem, stres gibi veriler, farklı amaçlarla parametre tahmini yapmak için temel dağılımlar kullanılarak analiz edilir. Ancak temel dağılımların, az parametre ile esnek olmayan uygulamalar sunması dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, temel dağılımları ile her zaman iyi sonuçlar elde etmek mümkün değildir. Bu durumda temel dağılımlar üzerinde istatistiksel çıkarımda bulunarak, verilerin parametrik olarak modellenmesi ve mevcut dağılımlara esneklik kazandırması umuduyla yeni dağılım aileleri elde edilmiştir. Böylece temel dağılımlar üzerinde genelleştirmeler ve dönüşümler gerçekleştirilerek daha çok parametreye sahip dağılımlar ile geniş arama alanları oluşturup kapsamlı çalışmalar ve daha doğru tahminler yapmak mümkün olmaktadır [1], [2], [3].

Literatürde, parametreleri daha iyi modelleyebilmek amacıyla çeşitli dağılımlar üzerinde farklı modeller kullanılarak pek çok deneme yapılmıştır. Bu denemelerde arasında Gupta ve Kundu [4] üstel dağılım, Kundu ve Raqab [5] genelleştirilmiş Rayleigh dağılım, Dey vd. [6] ağırlıklı üstel dağılım, Bilkova [7] üç parametrelili log-normal dağılım, Al-Omari vd. [8] iki parametrelili Xgamma dağılım, Dey ve Nassar [9] iki parametrelili Lindley dağılım, Karakaya ve Tanış [10] iki parametrelili Xgamma Weibull dağılım, Korkmaz vd. [11] iki parametrelili Log Üstel-Güç dağılım, Pobočíková vd. [12] iki parametrelili Weibull dağılımı, Ishaq ve Abiodun [13] Maxwell-Weibull dağılımını, Hashempour ve Alizadeh [14] yeni Yarı-Lojistik dağılım, Li ve Peng [15] Pareto dağılım, Ashoor ve Mohammed [16] Shanker-Weibull dağılım, Alabdulhadi ve Elgarhy [17] iki parametrelili Log-Logistic dağılım, Wang ve Shi [21] iki parametrelili genelleştirilmiş yarı normal dağılım, Gui ve Chen [18] genelleştirilmiş Lindley dağılım ve Baaqeel vd. [22] beş parametrelili New Lomax–Weibull dağılımı olduğu görülmektedir. Bu çalışılmalar dikkate alındığında görülür ki genellikle iki veya üç parametrelili dağılımlar kullanılmıştır. Biz de bu makalede beş parametrelili NLW dağılımı üzerinde çalışarak geniş çaplı bir parametre tahmini yaparak iyi sonuçlar elde etmeyi hedefledik.

Bu makalede, Weibull dağılımını temel alarak New Generalized Lomax (NL-G) ailesinin yeni bir özel üyesi olan New Lomax–Weibull (NLW) üzerinde parametre tahmini çalışılmıştır. NLW dağılımının dağılım fonksiyonu (df) Eşitlik (1)'de, olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) ise Eşitlik (2)'de gösterildiği gibidir:

$$F_{NLW} = 1 - e^{-\alpha \left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c\beta}}, \quad x \geq -\lambda \quad (1)$$

$$f_{(x)} = \frac{c}{\theta} \left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c-1} \alpha \beta \left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c\beta-c} e^{\left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c\beta}} = \frac{\alpha \beta c}{\theta} \left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c\beta-1} (e)^{-\alpha \left(\frac{x+\lambda}{\theta}\right)^{c\beta}} \quad (2)$$

Bu çalışmada, Weibull dağılımına dayalı New Generalized Lomax ailesinden türetilen yeni bir alt dağılım olan beş parametrelili New Lomax–Weibull (NLW) dağılımı ele alınmıştır. Çalışmanın temel amacı, bu yeni dağılım için kapsamlı bir parametre tahmini yaparak başarılı sonuçlara ulaşmaktır. NLW dağılımına ait en çok olabilirlik, en küçük kareler, ağırlıklı en küçük kareler, Cramér-von-Mises ve Anderson–Darling yöntemlerine dayalı tahmin ediciler teorik olarak çıkarılmıştır. Daha sonra, farklı parametre değerleri ve örneklem büyüklükleri altında gerçekleştirilen Monte Carlo simülasyonları yardımıyla bu tahmin edicilerin yanlışlık ve hata kare ortalaması (HKO) ölçütleri açısından karşılaştırmalı performans analizleri yapılmıştır.

2. PARAMETRE TAHMİN METODLARI

Bu çalışmada $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta$ parametrelerinin tahmin edicilerini belirlemek için beş parametrelili NLW dağılımı üzerinde beş tahmin yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler arasında en çok olabilirlik (EÇO), en küçük kareler (EKK), ağırlıklı en küçük kareler(AEKK), Cramér-von-Mises (CVM) ve Anderson–Darling (AD) bulunmaktadır.

2.1. NLW dağılımı için EÇO Tahmini

$X_1, X_2, \dots, X_n$ NLW dağılımından alınan rasgele bir örneklem olarak alınsın. Buna göre, EÇO tahmin yönteminin olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (3)'te verildiği gibidir. EÇO tahmini için NLW dağılımının Log-olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (4)'te verilmiştir:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i) \quad (3)$$

$$l(\alpha, \gamma, \theta, \beta, \delta, ; x) = n \log(\alpha) + n \log(\beta) + n \log(\delta) + n \log(\theta) + \sum_{i=1}^n \log\left(\frac{x+\gamma}{\theta}\right) + \sum \left(\frac{x+\gamma}{\theta}\right)^{\beta\delta} \quad (4)$$

Log-olabilirlik fonksiyonunun ilgili parametrelere göre türevleri alınıp, sıfıra eşitlenerek EÇO tahmin edicileri elde edilir. Detaylar için [22]'ye bakınız.

2.2. NLW dağılımı için EKK ve AEKK Tahmini

EKK ve AEKK tahmin edicileri Beta dağılımlarının parametrelerini tahmin etmek için Swain vd. [19] tarafından önerilmiştir. Burada $X_1, X_2, \dots, X_n$, NLW dağılım fonksiyonundan n büyüklüğünde bir rastgele örnek olsun. NLW dağılım fonksiyonundan n büyüklüğünde bir rastgele örnek olsun. EKK tahmin edicileri Eşitlik (5)'ün minimize edilmesiyle elde edilebilir:

$$EKK(\theta) = \sum_{i=1}^n \left(F(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2 \quad (5)$$

NLW dağılımının bilinmeyen parametrelerinin $(\alpha, \gamma, \theta, \beta, \delta)$ EKK tahmin edicileri Eşitlik (6)'ın minimize edilmesiyle elde edilebilir:

$$EKK(\alpha, \gamma, \theta, \beta, \delta) = \sum_{i=1}^n \left[F(x) - \left(\frac{i}{n+1} \right) \right]^2, i = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

NLW dağılımının AEKK tahminleri Eşitlik (7)'nin minimize edilmesiyle elde edilir:

$$AEKK(\theta) = \sum_{i=1}^n \frac{(n+1)^2(n+2)}{i(n-i+1)} \left(F(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2 \quad (7)$$

NLW dağılımının AEKK tahminleri Eşitlik (8)'nin minimize edilmesiyle elde edilir:

$$AEKK(\alpha, \gamma, \theta, \beta, \delta) = \sum_{i=1}^n \frac{(n+1)^2 (n+2)}{i(n-i+1)} \left[1 - e^{-\alpha \left(\frac{x_i + \gamma}{\theta} \right)^{\delta \beta}} - \left(\frac{i}{n+1} \right) \right]^2, i = 1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Detaylar için [22]'ye bakınız.

2.3. NLW dağılımı için CVM Tahmini

CVM tahmin edicileri Eşitlik (9)' un minimize edilmesi ile elde edilir:

$$CWM = \frac{n}{2} - 2 \sum_{i=1}^n F(X_{(i)}) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \log \left(1 - F(X_{(i)}) \right) \quad (9)$$

NLW dağılımının CVM tahminleri Eşitlik (10)'nin minimize edilmesiyle elde edilir:

$$CWM = \frac{1}{12n} \sum_{i=1}^n \left[1 - e^{-\alpha \left(\frac{x_i + \gamma}{\theta} \right)^{\delta \beta}} - \left(\frac{2i-1}{2n} \right) \right]^2 \quad (10)$$

2.4. NLW dağılımı için AD Tahmini

AD tahmin edicisi D'Agostino ve Stephens [20] tarafından önerilmiştir. AD tahmin edicileri Eşitlik (11)'nin minimize edilmesiyle elde edilebilir:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \left\{ \log F(X_{(i)}) + \log \left(1 - F(X_{(n+1-i)}) \right) \right\} \quad (11)$$

NLW dağılımının AD yöntemine göre tahmin edicileri Eşitlik (12)'in minimize edilmesiyle elde edilebilir:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \left\{ \log \left(1 - e^{-\alpha \left(\frac{x_i + \gamma}{\theta} \right)^{\delta \beta}} \right) + \log \left(e^{-\alpha \left(\frac{x_i + \gamma}{\theta} \right)^{\delta \beta}} \right) \right\} \quad (12)$$

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, NLW dağılımından üretilen örneklem verileri aracılığıyla, EÇO, EKK, AEKK, AD ve CVM tahmin edicilerinin performanslarını değerlendirmek üzere bir Monte Carlo simülasyon çalışması yapılmıştır. Simülasyonlar 10.000 deneme ile Matlab programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Örnek çapları $n=100, 200, 500$ ve $\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda$ parametreleri sırasıyla $(0.5, 1.6, 0.9, 1.5, 0.5)$ ve $(0.5, 1.8, 1.5, 1.5, 1.5)$ değerleri verilmiştir. Tahmin edicilerin performansları yan ve HKO kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 1-4 de verilmiştir.

Çizelge 1. $(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.6, 0.9, 1.5, 0.5)$ için tahmin edicilerin yan değerleri

$(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.6, 0.9, 1.5, 0.5)$					
Metot	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\delta}$	$\hat{\lambda}$
$n = 100$					
EÇO	0.0618	0.0274	0.0172	0.0636	0.0473

EKK	0.0169	0.1384	0.0049	0.1349	0.0783
AEKK	0.0112	0.0816	0.0049	0.0420	0.0371
AD	0.0210	0.0689	0.0042	0.0523	0.0395
CVM	0.0083	0.1263	0.0037	0.1209	0.0593
<i>n = 200</i>					
EÇO	0.0359	0.0302	0.0035	0.0467	0.0237
EKK	0.0134	0.0717	0.0066	0.0572	0.0368
AEKK	0.0054	0.0473	0.0016	0.0107	0.0158
AD	0.0117	0.0529	0.0008	0.0140	0.0217
CVM	0.0080	0.0730	0.0063	0.0519	0.0300
<i>n = 500</i>					
EÇO	0.0237	0.0227	0.0028	0.0335	0.0123
EKK	0.0031	0.0528	0.0009	0.0016	0.0149
AEKK	0.0062	0.0309	0.0031	0.0122	0.0028
AD	0.0018	0.0291	0.0043	0.0041	0.0069
CVM	0.0016	0.0429	0.0011	0.0062	0.0094

Çizelge 2. $(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.6, 0.9, 1.5, 0.5)$ için tahmin edicilerin HKO değerleri

$(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.6, 0.9, 1.5, 0.5)$					
Metot	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\delta}$	$\hat{\lambda}$
<i>n = 100</i>					
EÇO	0.0376	0.0550	0.0067	0.0658	0.0277
EKK	0.0658	1.3828	0.0724	0.7537	0.1439
AEKK	0.0416	0.1931	0.0147	0.2406	0.0454
AD	0.0318	0.1623	0.0110	0.1822	0.0357
CVM	0.0651	0.6102	0.0544	0.7816	0.1175
<i>n = 200</i>					
EÇO	0.0136	0.0224	0.0019	0.0262	0.0092
EKK	0.0396	0.1858	0.0144	0.3392	0.0434
AEKK	0.0199	0.0680	0.0045	0.1048	0.0156
AD	0.0174	0.0621	0.0043	0.0813	0.0143
CVM	0.0391	0.1931	0.0138	0.2237	0.0411
<i>n = 500</i>					
EÇO	0.0040	0.0074	0.0005	0.0098	0.0024
EKK	0.0171	0.0776	0.0036	0.0702	0.0128
AEKK	0.0076	0.0288	0.0013	0.0275	0.0049
AD	0.0071	0.0263	0.0013	0.0274	0.0046
CVM	0.0171	0.0748	0.0034	0.0756	0.0127

Çizelge 1 deki yan değerlerine bakıldığında, $\hat{\alpha}$ parametresi için CVM, $\hat{\beta}$ parametresi için EÇO, $\hat{\lambda}$ ve $\hat{\delta}$ parametreleri için ise AEKK metodu çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 2'ye bakıldığında ise HKO'na göre 100, 200 ve 500 örneklem değerlerinde en iyi sonucu EÇO metodunun verdiği görülmüştür.

Çizelge 3. $(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.8, 1.5, 1.5, 1.5)$ için tahmin edicilerin yan değerleri

$(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.8, 1.5, 1.5, 1.5)$					
Metod	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\delta}$	$\hat{\lambda}$
$n = 100$					
EÇO	0.0450	0.0045	0.0364	0.0115	0.0639
EKK	0.0190	0.1593	0.0600	0.1448	0.1912
AEKK	0.0169	0.0829	0.0130	0.0661	0.0901
AD	0.0218	0.0902	0.0202	0.0625	0.0927
CVM	0.0149	0.1428	0.0266	0.1392	0.1441
$n = 200$					
EÇO	0.0301	0.0036	0.0142	0.0133	0.0371
EKK	0.0138	0.0915	0.0915	0.0668	0.0831
AEKK	0.0047	0.0571	0.0063	0.0156	0.0371
AD	0.0099	0.0623	0.0126	0.0209	0.0453
CVM	0.0089	0.0730	0.0069	0.0519	0.0230
$n = 500$					
EÇO	0.0199	0.0021	0.0013	0.0092	0.0168
EKK	0.0006	0.0579	0.0124	0.0252	0.0322
AEKK	0.0054	0.0334	0.0104	0.0016	0.0121
AD	0.0023	0.0315	0.0144	0.0095	0.0186
CVM	0.0016	0.0429	0.0107	0.0062	0.0094

Çizelge 4. $(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.8, 1.5, 1.5, 1.5)$ için tahmin edicilerin HKO değerleri

$(\alpha, \beta, \theta, \delta, \lambda) = (0.5, 1.8, 1.5, 1.5, 1.5)$					
Metod	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\theta}$	$\hat{\delta}$	$\hat{\lambda}$
$n = 100$					
EÇO	0.0320	0.0939	0.0302	0.0620	0.0968
EKK	0.3471	1.8841	1.8890	0.8288	2.1144
AEKK	0.0411	0.2488	0.0620	0.2460	0.1830
AD	0.0321	0.2643	0.0668	0.2041	0.1759
CVM	0.0717	0.8119	0.1956	0.6647	0.4428
$n = 200$					
EÇO	0.0116	0.0271	0.0102	0.0298	0.0310
EKK	0.0831	0.0831	0.0531	0.2802	0.1606
AEKK	0.0221	0.1182	0.0198	0.0879	0.0620

AD	0.0184	0.1075	0.0184	0.0838	0.0569
CVM	0.0391	0.1931	0.0138	0.2237	0.0411
$n = 500$					
EÇO	0.0037	0.0142	0.0025	0.0106	0.0080
EKK	0.0181	0.1999	0.0198	0.1038	0.0482
AEKK	0.0088	0.0557	0.0075	0.0371	0.0193
AD	0.0077	0.0569	0.0074	0.0367	0.0186
CVM	0.0171	0.0747	0.0034	0.0756	0.0127

Çizelge 3 deki yan değerlerine bakıldığında, $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\lambda}$ parametreleri için CVM, $\hat{\beta}$ ve $\hat{\delta}$ parametreleri için EÇO ve $\hat{\theta}$ parametresi için ise AEKK metodu çok daha iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4 deki HKO değerlerine bakıldığında 100, 200 ve 500 örneklem sayıları için en iyi sonucu EÇO yönteminin verdiği görülmüştür.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, beş parametrelili NLW dağılımı ele alınmış ve dağılıma ait farklı parametre tahmin yöntemleri incelenmiştir. EÇO, EKK, AEKK, CVM ve AD yöntemlerine dayalı tahmin ediciler teorik olarak elde edilmiştir; Monte Carlo simülasyonları aracılığıyla farklı parametre değerleri ve örneklem büyüklükleri altında performansları karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, yan değerleri açısından parametre bazlı farklı yöntemlerin öne çıktığı görülmüştür. Çizelge 1’de, α parametresi için CVM, β parametresi için EÇO, λ ve δ parametreleri için ise AEKK yönteminin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir. Çizelge 3’te ise α ve λ parametrelerinde CVM, β ve δ parametrelerinde EÇO, θ parametresinde ise AEKK yöntemi öne çıkmıştır.

HKO kriterine göre yapılan değerlendirmelerde ise örneklem büyüklüğü arttıkça EÇO yönteminin diğer tahmin edicilere kıyasla daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür (Çizelge 2 ve Çizelge 4). Bu durum, özellikle HKO açısından EÇO metodunun NLW dağılımı için güçlü ve güvenilir bir tahmin yöntemi olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, NLW dağılımının parametrik tahmininde farklı yöntemlerin parametre bazında avantajlar sunduğu, ancak genel performans açısından EÇO yönteminin özellikle hata kare ortalaması ölçütünde öne çıktığı söylenebilir. Gelecek çalışmalar kapsamında, mevcut tahmin yöntemlerine ek olarak farklı tahmin edicilerin incelenmesi ve ayrıca gerçek veri uygulamalarıyla yöntemin geçerliliğinin test edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] W. Wang, K. Chen, Y. Bai, Y. Chen ve J. Wang, “New estimation method of wind power density with three-parameter Weibull distribution: A case on Central Inner Mongolia suburbs,” *Wind Energy*, 25(2), ss. 368–386, 2022.
- [2] R. Mandouh, “Lomax-modified Weibull distribution: A new generalization,” *J. Adv. Math. Comput. Sci.*, 27(1), ss. 1–7, 2018.
- [3] M.Q. Shahbaz, S. Shahbaz ve N.S. Butt, “The Kumaraswamy-inverse Weibull distribution,” *Pak. J. Stat. Oper. Res.*, 8, ss. 479–489, 2012.
- [4] R.D. Gupta ve D. Kundu, “Generalized exponential distribution: different method of estimations,” *J. Stat. Comput. Simul.*, 69(4), ss. 315–337, 2001.
- [5] D. Kundu ve M.Z. Raqab, “Generalized Rayleigh distribution: different methods of estimations,” *Comput. Stat. Data Anal.*, 49(1), ss. 187–200, 2005.
- [6] S. Dey, S. Ali ve C. Park, “Weighted exponential distribution: properties and different methods of estimation,” *J. Stat. Comput. Simul.*, 85(18), ss. 3641–3661, 2015.
- [7] D. Bílková, “Lognormal distribution and using L-moment method for estimating its parameters,” *Int. J. Math. Models Methods Appl. Sci.*, 6(1), ss. 30–44, 2012.
- [8] A.I. Al-Omari, S. Benchiha ve I.M. Almanjahie, “Efficient estimation of two-parameter Xgamma distribution parameters using ranked set sampling design,” *Mathematics*, 10(17), 3170, 2022.
- [9] S. Dey ve M. Nassar, “Classical methods of estimation on constant stress accelerated life tests under exponentiated Lindley distribution,” *J. Appl. Stat.*, 47(6), ss. 975–996, 2020.
- [10] K. Karakaya ve C. Tanış, “Estimating the parameters of Xgamma Weibull distribution,” *Adıyaman Univ. J. Sci.*, 10(2), ss. 557–571, 2020.
- [11] M.Ç. Korkmaz, K. Karakaya ve Y. Akdoğan, “Parameter estimation procedures for log exponential-power distribution with real data applications,” *Adıyaman Univ. J. Sci.*, 12(2), ss. 193–202, 2022.
- [12] I. Pobočíková, Z. Sedláčková, M. Michalková ve D. Jurášová, “Parameter estimation of Weibull probability distribution by seven methods – a wind regime of the city of Nitra, Slovakia,” *J. Appl. Math. Comput. Mech.*, 23(3), 2024.
- [13] A.I. Ishaq ve A.A. Abiodun, “The Maxwell-Weibull distribution in modeling lifetime datasets,” *Ann. Data Sci.*, 7(4), ss. 639–662, 2020.
- [14] M. Hashempour ve M. Alizadeh, “A new two-parameter extension of half-logistic distribution: properties, applications and different method of estimations,” *Thailand Statistician*, 22(3), ss. 720–735, 2024.
- [15] X. Li ve X. Peng, “Mean squared error representative points of Pareto distributions and their estimation,” *Entropy*, 27(3), 249, 2025.
- [16] N.E. Ashoor ve M.J. Mohammed, “Estimation parameters of Shanker-Weibull distribution with simulation and application,” *AIP Conf. Proc.*, 3264(1), Mart 2025.
- [17] M.H. Alabdulhadi ve M. Elgarhy, “Different estimation methods for a new extension three parameter log-logistic distribution with applications,” *J. Stat. Appl. Probab.*, 13(4), ss. 1181–1202, 2024.



- [18] W. Gui ve M. Chen, “Parameter estimation and joint confidence regions for the parameters of the generalized Lindley distribution,” *Math. Probl. Eng.*, 2016(1), 7946828, 2016.
- [19] J.J. Swain, S. Venkatraman ve J.R. Wilson, “Least-squares estimation of distribution functions in Johnson’s translation system,” *J. Stat. Comput. Simul.*, 29(4), ss. 271–297, 1998.
- [20] R.B. D’Agostino ve M.A. Stephens, *Goodness-of-Fit Techniques*, Dekker, New York, 1986.
- [21] L. Wang ve Y. Shi, “Estimation for constant-stress accelerated life test from generalized halfnormal distribution,” *J. Syst. Eng. Electron.*, 28(4), ss. 810–816, 2017.
- [22] H. Baaqeel, H. Alnashri ve L. Baharith, “A New Lomax-G Family: Properties, Estimation and Applications,” *Entropy*, 27(2), s. 125, 2025.

MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARIYLA POLİKİSTİK OVER SENDROMUNUN TANISAL SINIFLANDIRILMASI

Uzman Hemşire SÜHEYLA DEMİRTAŞ ALPSALAZ¹, Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ ALPSALAZ², Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL³, Dr. Öğr. Üyesi EMRAH ASLAN⁴, Dr. Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK⁵

¹ Sağlık Bakanlığı, Akdağmadeni Devlet Hastanesi, s.demirtasalpsalaz@saglik.gov.tr -0000-0002-7665-4428

² Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr- 0000-0002-7695-6426

³ Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, hasan.uzel@bozok.edu.tr- 0000-0002-8238-2588

⁴ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mardin Artuklu Üniversitesi, emrahaslan@artuklu.edu.tr- 0000-0002-0181-3658

⁵ Silvan Meslek Yüksekokulu, Dicle Üniversitesi, yildirim.ozupak@dicle.edu.tr -0000-0001-8461-8702

ÖZET

Bu çalışmada, klinik, antropometrik ve biyokimyasal göstergelere dayalı olarak Polikistik Over Sendromu (PCOS) varlığının makine öğrenmesi algoritmalarıyla sınıflandırılması amaçlanmıştır. Kerala/Hindistan'daki on merkezden toplanan çok merkezli PCOS veri kümesi üzerinde lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman, gradyan artırmalı ağaçlar, K-en yakın komşu ve LightGBM algoritmaları uygulanmıştır. Verilerdeki eksik değerler medyan ile tamamlanmış, kategorik değişkenler ikili biçime dönüştürülmüş, gerekli modellerde standardizasyon yapılmıştır. Modeller doğruluk ve konfüzyon matrisi ve ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre LightGBM ve Gradient Boosting modelleri en yüksek doğruluk değerlerine ulaşmış; LightGBM, yanlış negatif oranını daha düşük tutarak klinik açıdan öne çıkmıştır. Bulgular, makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımların PCOS tanısını destekleyen güvenilir ve yorumlanabilir bir karar aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Polikistik Over Sendromu, Makine Öğrenmesi, Sınıflandırma, Klinik Biyokimya.

1.Giriş ve Literatür

Polikistik Over Sendromu (PCOS), doğurganlık çağındaki kadınlarda en sık görülen endokrin bozukluklardan biridir ve kronik anovulasyon, hiperandrojenizm ve polikistik over morfolojisi ile karakterizedir [2]. Hastalık yalnızca üreme sistemini değil, aynı zamanda metabolik, kardiyovasküler ve psikolojik sağlığı da etkileyen çok yönlü bir klinik tabloya sahiptir [3]. PCOS'un görülme sıklığı farklı toplumlarda %6–21 arasında değişmekte olup, tanı sürecinde Rotterdam kriterleri (2003) en yaygın kullanılan klinik rehberdir [4]. Ancak bu kriterlerin uygulanması laboratuvar sonuçları, ultrason bulguları ve klinik semptomların yorumlanmasına bağlı olduğundan, tanıda öznel değerlendirme farklılıkları ve gecikmeler sıklıkla görülmektedir.

Günümüzde, büyük hacimli hasta verilerinin erişilebilir hâle gelmesi ve yapay zekâ tabanlı yaklaşımların klinik karar destek sistemlerinde yaygınlaşması, PCOS gibi çok faktörlü hastalıkların erken tanısında yeni olanaklar sunmaktadır [5]. Özellikle makine öğrenmesi algoritmaları, heterojen klinik göstergeler arasındaki karmaşık örüntüleri saptayarak tanı doğruluğunu artırma potansiyeline sahiptir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, lojistik regresyon, rastgele orman, destek vektör makineleri, gradyan artırılmalı ağaçlar ve yapay sinir ağları gibi yöntemlerin PCOS sınıflandırmasında umut verici sonuçlar verdiği raporlanmıştır [6]. Bununla birlikte, kullanılan modellerin açıklanabilirliği sınırlı olduğunda, klinik uygulamaya entegrasyon güçleşmektedir [7-8].

Bu nedenle, bu çalışmada çok merkezli bir PCOS veri kümesi kullanılarak, klinik, antropometrik ve biyokimyasal göstergeler üzerinden PCOS'un var/yok şeklinde sınıflandırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında farklı makine öğrenmesi algoritmalarının (lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman, gradyan artırılmalı ağaçlar, K-en yakın komşu ve LightGBM) performansları karşılaştırılmış; doğruluk, F1, duyarlılık ve ROC-AUC ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Ayrıca model çıktıları özellik önemi ve SHAP tabanlı açıklanabilirlik analizleri ile yorumlanarak, hangi değişkenlerin PCOS tanısına daha fazla katkı sunduğu ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, PCOS tanısında makine öğrenmesi modellerinin klinik verilerle bütünleşik biçimde kullanılabileceğini ve bu yaklaşımların özellikle erken tanı, risk sınıflandırması ve karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Dataseti

Bu çalışma, Kerala/Hindistan'daki 10 merkezden derlenen kamuya açık PCOS veri kümesiyle yürütülmüştür [1]. İki dosya (PCOS_data_without_infertility.xlsx/Full_new ve PCOS_infertility.csv) hasta dosya numarası üzerinden birleştirilmiştir. Değişkenler demografik/antropometrik (yaş, kilo, evlilik süresi), klinik/yaşam tarzı (gebelik, kilo artışı, kılınma, cilt koyulaşması, saç dökülmesi, sivilce, düzenli egzersiz, fast-food) ve laboratuvar göstergelerini (BP, RBS, Beta-HCG, AMH) içermektedir. (Y/N) alanları 1/0'a çevrilmiş, kan grubu kılavuzdaki kodlarla (A+=11 ... AB-=18) sayısallaştırılmış ve hedef PCOS var=1 / yok=0 olarak tanımlanmıştır. Sınıf dağılımı dengesiz olduğundan metrikler ile raporlanmıştır.

2.2. Algoritmalar

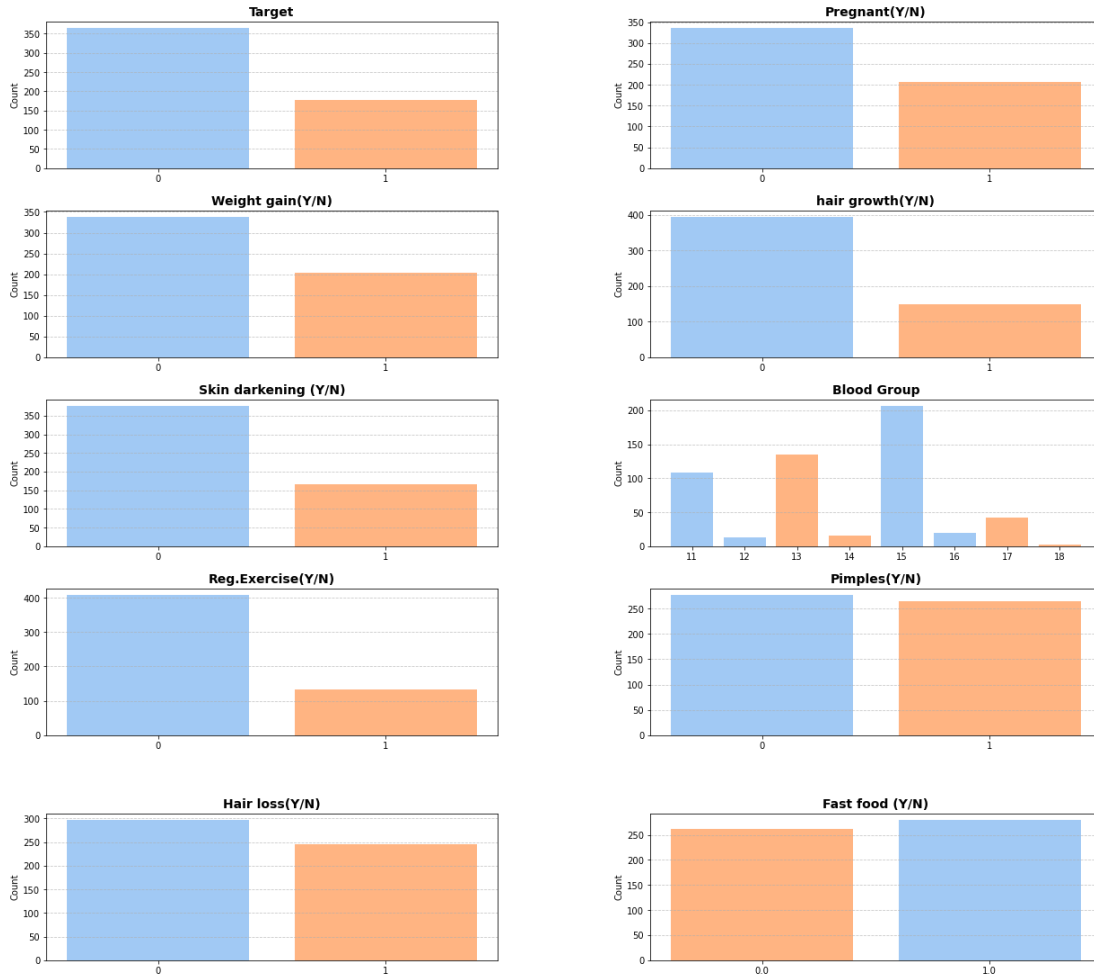
Bu çalışmada PCOS'un ikili sınıflandırması için yaygın ve klinik olarak yorumlanabilir altı yöntem kullanıldı; her biri eğitim–test ayrımı stratified olacak şekilde değerlendirildi, gerektiğinde standardizasyon uygulandı ve basit bir hiperparametre araması (RandomizedSearchCV) yapıldı.

- Lojistik Regresyon (LR): Doğrusal, hızlı ve klinik açıdan yorumlaması kolay bir temel modeldir. Ölçeklenmiş veride iyi çalışır; aşırı uyumu azaltmak için düzenleme tercih edilir.
- Karar Ağacı (DT): Kurala dayalı, anlaşılır bir yapı sunar; tek başına yüksek varyanslı olabilir ancak karar mantığını görselleştirmek kolaydır.
- Rastgele Orman (RF): Birden çok ağacın birleşimiyle genelleme hatasını azaltır; gürültüye dayanıklı ve özellik önemlerini çıkarma açısından pratiktir.
- Gradyan Artırmalı Ağaçlar (GB): Art arda kurulan zayıf öğrencilerle hatayı düşürür; karmaşık örüntülere duyarlıdır, öğrenme oranı ve derinlik gibi ayarlar kritiktir.
- K-En Yakın Komşu (KNN): Mesafe temelli basit bir yöntemdir; ölçeklemeye duyarlıdır ve sınıf sınırlarının düzensiz olduğu durumlarda etkili olabilir.
- LightGBM: Büyük/orta ölçekli ve seyrek özellikli verilerde verimli çalışan bir boosting kütüphanesidir; hız, performans ve özellik önemi çıktılarıyla öne çıkar.

Değerlendirme ölçütleri: Doğrulukla birlikte confüzyon matrisi ile raporlanmıştır. Sınıf dengesizliği göz önüne alınarak eşik ayarı ve class_weight gibi yaklaşımlar gerektiğinde dikkate alınmıştır.

3. Bulgular

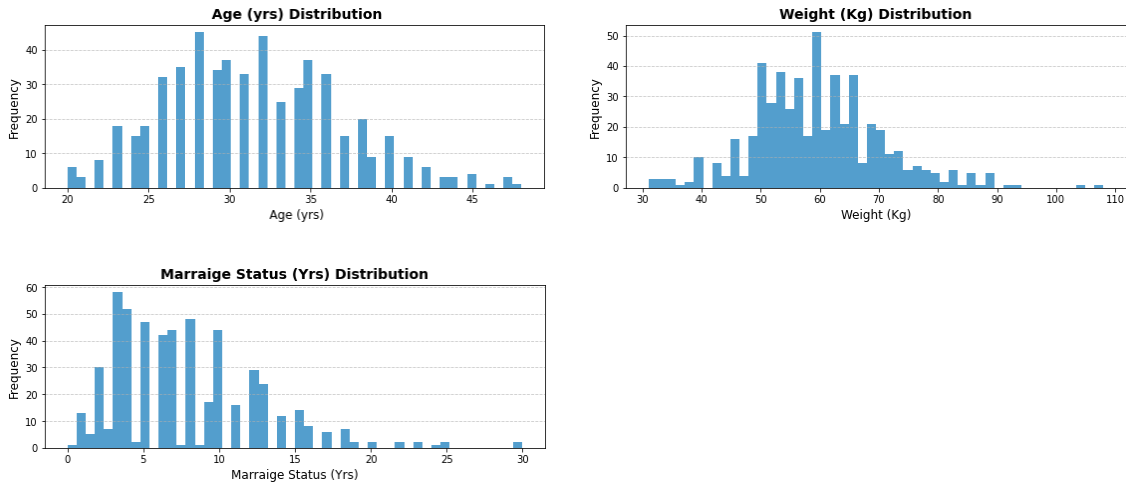
Bu bölümde, PCOS veri kümesinin yapısal özellikleri, değişken dağılımları ve uygulanan makine öğrenmesi modellerinin performans sonuçları görsel analizlerle birlikte sunulmuştur. Şekillerde sırasıyla kategorik ve sayısal değişkenlerin dağılımları, değişkenler arası korelasyon yapısı, modellerin doğruluk karşılaştırmaları ve her model için karışıklık matrisleri verilmiştir. Her görselin ardından teknik ve klinik açıdan değerlendirmeler yapılarak bulguların PCOS tanı sürecine olası katkıları tartışılmıştır.



Hedef (PCOS var=1/yok=0), Gebelik (E/H), Kilo artışı (E/H), Kılınma/hirsutizm (E/H), Cilt koyulaşması (E/H), Kan grubu (kodlar: 11–18), Düzenli egzersiz (E/H), Sivilce (E/H), Saç dökülmesi (E/H), Fast-food tüketimi (E/H)

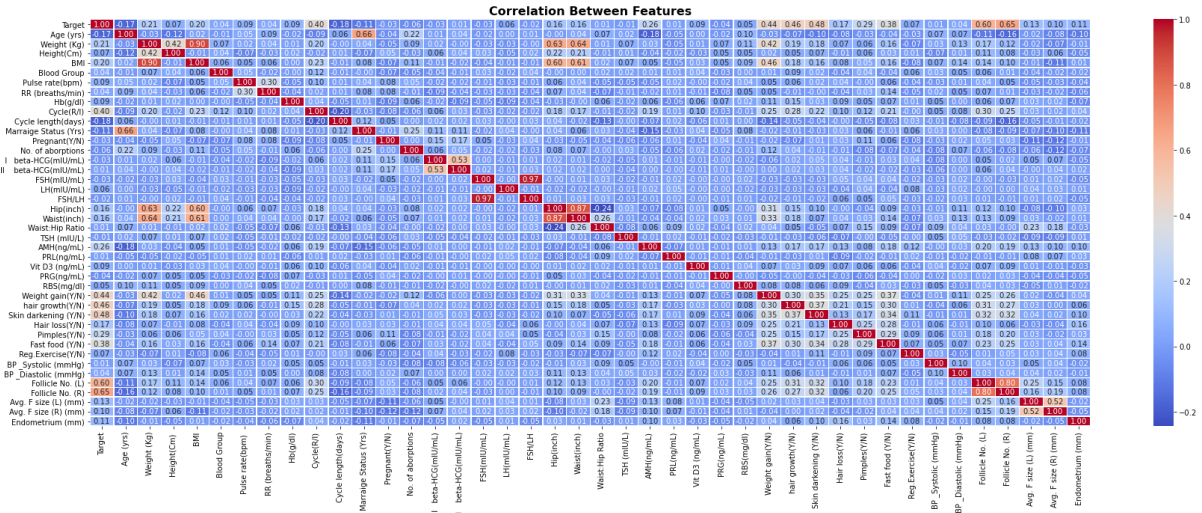
Şekil 1. Kategorik değişkenlerin frekans dağılımları:).

Çalışmada kullanılan kategorik değişkenlerin ham frekans dağılımları Şekil 1’de gösterilmiştir. Hedef değişken (PCOS) sınıfı dengesizdir; PCOS olmayan örneklerin sayısı, PCOS olanlara kıyasla daha yüksektir. Belirti ve bulguların genel sıklığı incelendiğinde kilo artışı, kıllanma (hirsutizm), cilt koyulaşması, saç dökülmesi ve sivilce değişkenlerinin popülasyonun kayda değer bir kısmında görüldüğü; düzenli egzersiz yapanların sayısının görece düşük seyrettiği izlenmektedir. Kan grubu dağılımı kodlanmış değerler (A+=11, A-=12, B+=13, B-=14, O+=15, O-=16, AB+=17, AB-=18) arasında yayılım göstermektedir.

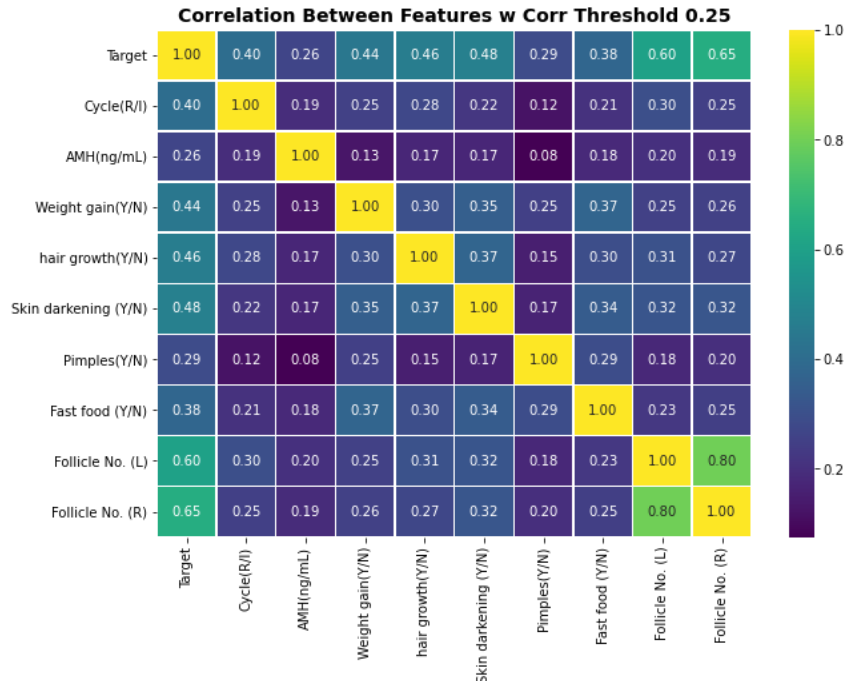


Şekil 2. Sayısal değişkenlerin histogramları: Yaş (yıl), Kilo (kg) ve Evlilik süresi (yıl) dağılımları.

Aritmetik dağılımlar Şekil 2’de gösterilmiştir. Yaş dağılımı genç yetişkin grubunda toplanmakta ve orta-üst 20’li yaşlara doğru yoğunlaşmaktadır. Kilo (kg) dağılımı sağa çarpıktır; 50–70 kg aralığında yığılma varken daha yüksek değerlere doğru uzun bir kuyruk gözlenmektedir. Evlilik süresi (yıl) dağılımı da sağa çarpık olup çoğunluk 0–10 yıl aralığında yer almakta, daha uzun süreler seyrekler. Bu paternler, modellemede ölçekleme (standardizasyon) ve gerekirse aşırı uçların etkisini sınırlamak için sağlam istatistikler (ör. medyan, IQR temelli sınırlandırma/winsorizing) kullanımını desteklemektedir. Ayrıca bu histogramlar toplam örneklem içindir; PCOS var/yok grupları arasında olası dağılım farkları ilerleyen bölümde istatistiksel olarak incelenecektir.



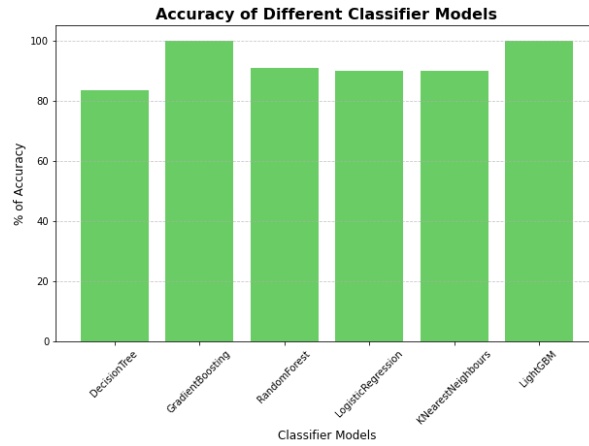
Şekil 3. Sayısal değişkenler arasındaki Pearson korelasyon ısı haritası.



Şekil 4. Hedefle korelasyon eşiği (≈ 0.25) uygulandıktan sonra seçilen sayısal özellikler arasındaki korelasyon ısı haritası.

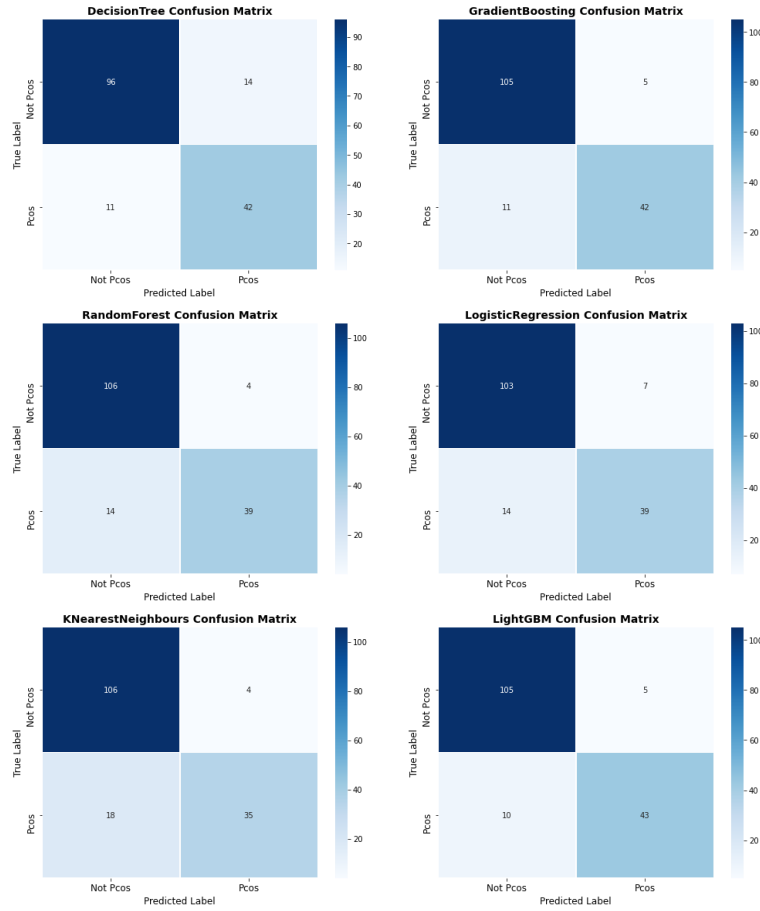
Hücre değerleri ikili korelasyon katsayılarını göstermektedir; orta ve yüksek ilişki kümeleri Şekil3 ve Şekil 4'te görülmektedir. Korelasyon eşiği uygulanarak (≈ 0.25) seçilen değişkenler arasında orta düzeyli ilişkiler yaygındır; bazı çiftlerde yüksek korelasyon (≈ 0.8 civarı) dikkati çekmektedir. Bu durum, doğrusal tabanlı modellerde çoklu doğrusal bağlantı riskini artırabileceğinden özellik seçimi (ör. yüksek korelasyonlu bir değişkeni eleme), düzenleme (L1/L2) veya ağaç tabanlı yöntemlerin tercih edilmesini destekler. Benzer fizyolojik süreci

ölçen göstergelerin (ör. antropometrik ölçüler veya yakın biyokimyasal parametreler) birlikte hareket etmesi beklenen bir sonuçtur.



Şekil 5. Sınıflandırıcıların eğitim verilerinin doğruluk (%) karşılaştırması

Modellerin eğitim verilene karşılaştırmalı doğruluk sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Genel eğilim, boosting tabanlı yaklaşımların (özellikle Gradient Boosting ve LightGBM) en yüksek doğruluk düzeylerine ulaştığını, Random Forest'ın buna yakın, Lojistik Regresyon ve K-En Yakın Komşu (KNN)'nin orta düzeyde seyrettiğini, Karar Ağacının ise en düşük performansı verdiğini göstermektedir. Bu tablo, topluluk (ensemble) yöntemlerinin tek başına kullanılan ağaç ya da uzaklık tabanlı modellere göre daha tutarlı genelleme sunduğunu düşündürmektedir.



Şekil 6. Test setinde altı modelin karışıklık matrisleri

Toplam doğrulukta LightGBM ve Gradient Boosting öndedir. LightGBM, yanlış negatifleri en çok azaltarak (FN=10) en yüksek duyarlılığa ulaşmıştır; bu, dengesiz veri koşullarında ve klinik öncelikler açısından kritiktir. Random Forest ve KNN ise özgüllük bakımından çok yüksektir (FP düşük), ancak recall maliyetine. Bu tablo, nihai model seçiminde yalnızca doğruluğa değil; F1, ROC-AUC ve klinik maliyete duyarlı eşik ayarına (threshold tuning) ihtiyaç olduğunu gösterir. PCOS olup “yok” olarak sınıflanan yanlış negatifler (FN) klinikte geç tanı/izlem riskini artırır. Bu nedenle LightGBM gibi recall’ı yüksek bir model tercih edilmeli veya karar eşiği duyarlılığı artıracak şekilde yeniden ayarlanmalıdır. Buna karşılık yanlış pozitifler (FP) daha fazla ileri tetkik anlamına gelir; Random Forest gibi özgüllüğü yüksek modeller bu yükü azaltabilir. Klinik bağlamda duyarlılık–özgüllük dengesi, merkezin kaynakları ve tarama amacına göre belirlenmelidir.

4.Sonuç

Bu çalışma, çok merkezli bir PCOS veri kümesinde klinik, antropometrik ve biyokimyasal göstergeler kullanılarak PCOS’un var/yok biçiminde sınıflandırılabileceğini göstermiştir.

Gerçekleştirilen analizlerde, topluluk temelli yaklaşımların (özellikle LightGBM ve Gradient Boosting) doğruluk ve duyarlılık açısından klasik yöntemlere (lojistik regresyon, karar ağacı, KNN) göre üstün performans sergilediği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, özellikle yanlış negatiflerin (tanı konulamayan olgular) azaltılmasında yüksek duyarlılığa sahip modellerin tercih edilmesinin klinik açıdan daha uygun olduğunu göstermektedir. Ayrıca özellik önemi temelli açıklanabilirlik analizleri, hormonal parametrelerin ve antropometrik göstergelerin PCOS riskini belirlemede öne çıktığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, makine öğrenmesi yöntemleri PCOS'un erken tanısında hekimlere karar desteği sağlayabilecek etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte daha geniş örneklemeler ve zaman serisi tabanlı modellerle yapılacak çalışmalar hem tanısal doğruluğu artırabilir hem de bireyselleştirilmiş tedavi planlamalarına katkı sağlayabilir.

Kaynakça

- [1] Kaggle, “Polycystic Ovary Syndrome (PCOS) Dataset (Kerala, India),” data files: *PCOS_data_without_infertility.xlsx* and *PCOS_infertility.csv*, accessed Oct. 28, 2025. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/ambarish/breakhis> (PCOS dataset page).
- [2] Aydos, A., Öztemur, Y., & Dedeoğlu, B. G. (2016). Polikistik over sendromu ve moleküler yaklaşımlar. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 73(1), 81-88.
- [3] Ertürk, Ç., Küçükali, A. S., & Arslan, A. (2024). Kardiyovasküler Hastalıklar ve Mental Problemlerin İlişkisi. *Istanbul Gelisim University Journal of Health Sciences*, (23), 954-967.
- [4] Enginyurt, Ö. (2019). Aile Hekimliği Polikliniğinde Polikistik Over Sendromu Tanısı Alan Bir Olgusu. *Klinik Tıp Aile Hekimliği*, 11(1).
- [5] Chauhan, P., Patil, P., Rane, N., Raundale, P., & Kanakia, H. (2021, June). Comparative analysis of machine learning algorithms for prediction of pcos. In *2021 international conference on communication information and computing technology (ICCICT)* (pp. 1-7). IEEE.
- [6] Arora, S., Vedpal, & Chauhan, N. (2025). Polycystic Ovary Syndrome (PCOS) diagnostic methods in machine learning: a systematic literature review. *Multimedia Tools and Applications*, 84(16), 16301-16337.



- [7] Thakre, V., Vedpathak, S., Thakre, K., & Sonawani, S. (2020). PCOcare: PCOS detection and prediction using machine learning algorithms. *Biosci Biotechnol Res Commun*, 13(14), 240-244.
- [8] Hdaib, D., Almajali, N., Alquran, H., Mustafa, W. A., Al-Azzawi, W., & Alkhayyat, A. (2022, May). Detection of polycystic ovary syndrome (PCOS) using machine learning algorithms. In *2022 5th international conference on engineering technology and its applications (IICETA)* (pp. 532-536). IEEE.

EFFICIENTNET-B7 İLE MEME KANSERİ HİSTOPATOLOJİK GÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

**Uzman Hemşire SÜHEYLA DEMİRTAŞ ALPSALAZ ¹, Dr. Öğr. Gör. FEYYAZ
ALPSALAZ ², Dr. Öğr. Gör. HASAN UZEL³, Dr. Öğr. Üyesi EMRAH ASLAN⁴, Dr.
Öğr. Üyesi YILDIRIM ÖZÜPAK⁵**

¹ Sağlık Bakanlığı, Akdağmadeni Devlet Hastanesi, s.demirtasalpsalaz@saglik.gov.tr -0000-0002-7665-4428

² Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi,
feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr- 0000-0002-7695-6426

³ Akdağmadeni Meslek Yüksekokulu, Yozgat Bozok Üniversitesi, hasan.uzel@bozok.edu.tr-
0000-0002-8238-2588

⁴ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Mardin Artuklu Üniversitesi,
emrahaslan@artuklu.edu.tr- 0000-0002-0181-3658

⁵ Silvan Meslek Yüksekokulu, Dicle Üniversitesi, yildirim.ozupak@dicle.edu.tr -0000-0001-
8461-8702

ÖZET

Bu çalışmada, hematoksilen–eozin boyalı histopatolojik meme dokusu görüntülerinden benign–malign ayrımı için EfficientNet-B7 tabanlı bir derin öğrenme yaklaşımı sunulmuştur. BreakHis veri kümesi (82 hasta, 9.109 görüntü; 40×–400× büyütme) kullanılarak, görüntüler yeniden ölçeklendirilmiş ve normalleştirilmiştir. Eğitimde aşırı uyumu azaltmak amacıyla döndürme, yatay ayna ve yakınlaştırma içeren veri artırma uygulanmış; sınıf dengesizliği yalnızca eğitim aşamasında azınlık sınıfının çoğaltılmasıyla dengelenmiştir. ImageNet üzerinde ön-eğitilmiş EfficientNet-B7 gövdesi aktarılmış, tepe katmanları ikili sınıflandırma için özelleştirilmiş; iki aşamalı ince ayar ve basamaklı öğrenme oranı zamanlayıcısı ile 50 epok eğitim gerçekleştirilmiştir. Test kümesinde (n=791; benign=261, malign=530) elde edilen konfüzyon matrisi TN=235, FP=26, FN=37, TP=493 olup doğruluk %92.04'tür. Malign sınıf için duyarlılık %93.02, kesinlik %94.99, F1-skoru %93.99; dengeli doğruluk %91.53 olarak hesaplanmıştır. Öğrenme eğrileri, doğrulama performansının 15. epok sonrasında kararlı biçimde plato yaptığını göstermektedir. Bulgular, EfficientNet-B7'nin çok

ölçekli morfolojik ipuçlarını etkili biçimde yakalayıp histopatolojik meme kanseri sınıflandırmasında yüksek doğruluk ve duyarlılık sağladığını göstermektedir. Klinik uyarılma için eşik/olasılık kalibrasyonu, renk standardizasyonu ve kurum-dışı doğrulamalar önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler : BreaKHis, EfficientNet-B7, histopatoloji, meme kanseri, derin öğrenme, transfer öğrenme.

1.Giriş ve Literatür

Meme kanseri dünyada kadınlarda en sık görülen malignitelerden biridir ve erken tanı–tedavi sürecinde histopatolojik inceleme altın standart olmaya devam etmektedir [1]. Bununla birlikte, cam preparatların mikroskopik değerlendirmesi zaman alıcı, gözlemciye bağımlı ve kurumlar arası boyama/tarama farklılıklarından etkilenebilen bir süreçtir. Sayısal patoloji ve derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, bu sınırlılıkları azaltarak karar destek sağlama potansiyeli taşımaktadır [2].

Bu çalışmada kullanılan BreaKHis veri kümesi, 82 hastadan toplanan 9.109 H&E boyalı meme tümörü görüntüsünü ($40\times$ – $400\times$) içermesi, benign/malign sınıflar ve ilgili alt tipleri kapsaması nedeniyle literatürde karşılaştırmalı değerlendirmeler için en yaygın referanslardan biridir [3]. Veri kümesinin çok ölçekli yapısı ve sınıf içi heterojenliği, modellerin çok-ölçekli doku ipuçlarını yakalayabilmesini ve genelleme yapabilmesini gerektirir.

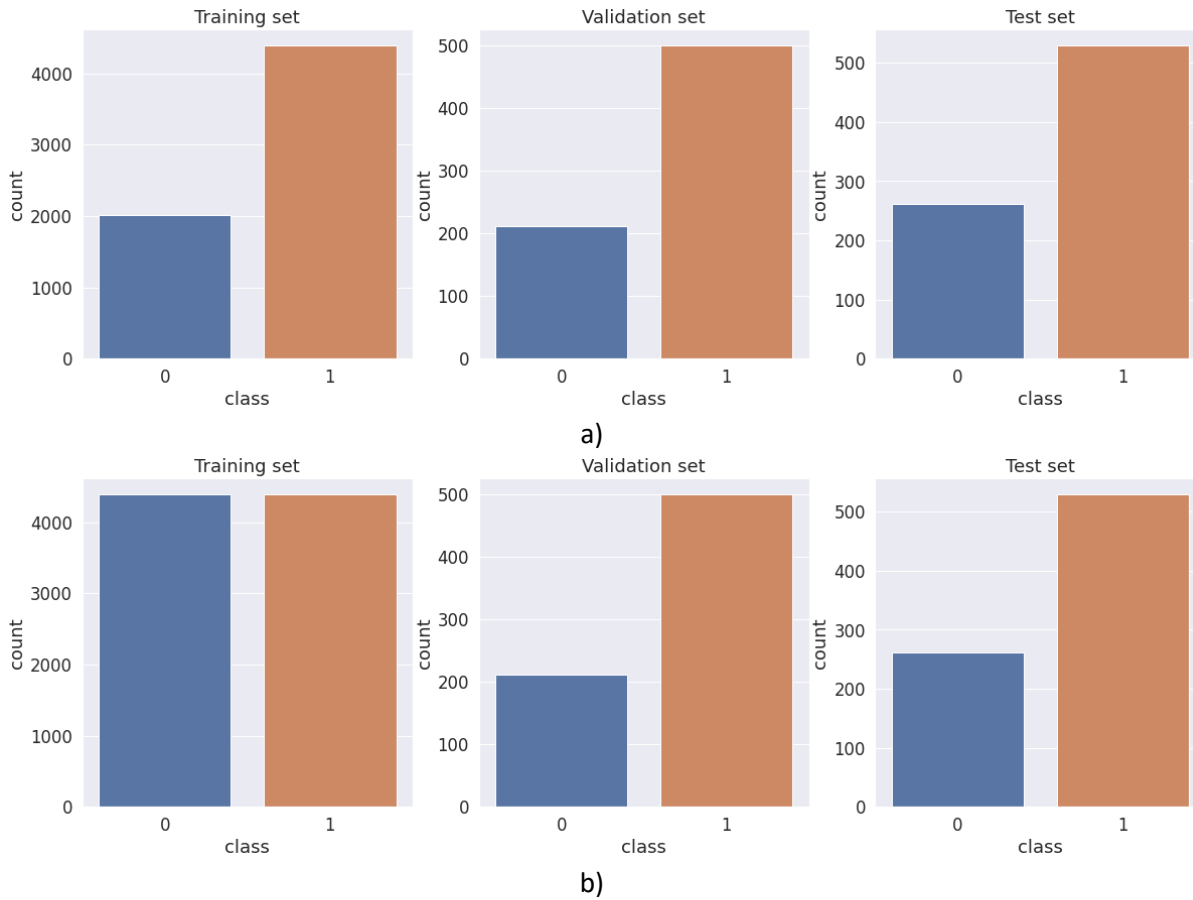
Erken dönem çalışmalarda el yapımı (hand-crafted) öznitelikler—ör. doku istatistikleri, LBP/GLCM, renk momentleri—ve geleneksel sınıflandırıcılar (SVM, RF) kullanılmış; ancak bu yaklaşımlar, özellik tasarımı ve ölçek bağımlılığı gibi nedenlerle BreaKHis üzerinde sınırlı başarı sergilemiştir [4]. Sonraki dönemde derin evrişimli sinir ağları (CNN), görüntüden uçtan uca özellik öğrenimi sayesinde belirgin performans iyileştirmeleri sağlamış; transfer öğrenme ile ImageNet üzerinde ön-eğitilmiş mimarilerin (AlexNet, VGG, GoogLeNet/Inception, ResNet, DenseNet, MobileNet) BreaKHis’e uyarlanması yaygın hâle gelmiştir [5]–[7]. Bu çalışmaların çoğunda doğrulukların %90’ın üzerine çıktığı, ancak büyütme düzeyi değişimi ve boyama farklılıkları karşısında genelleme ve kararlılık sorunlarının sürdüğü rapor edilmiştir [8]–[9].

2. Materyal ve Metot

2.1. Dataseti

Bu çalışmada, meme tümörü histopatolojik görüntülerinden oluşan BreaKHis veri seti kullanılmıştır [3]. Veri kümesi, 82 hastadan elde edilmiş 9.109 mikroskopik görüntü içermekte olup 4 farklı büyütme düzeyini (40×, 100×, 200×, 400×) kapsamaktadır. Görüntüler 700×460 piksel, RGB (3 kanal), 8-bit, PNG formatındadır. Sınıf dağılımı 2.480 benign ve 5.429 malign örnekten oluşur. Benign sınıfı adenosis (A), fibroadenoma (F), phyllodes tumor (PT) ve tubular adenoma (TA); malign sınıfı ise ductal carcinoma (DC), lobular carcinoma (LC), mucinous carcinoma (MC) ve papillary carcinoma (PC) alt tiplerini içerir.

BreaKHis'te dosya adları; biyopsi yöntemi, sınıf, alt tip, hasta kimliği ve büyütme bilgisini kodlayacak biçimdedir. Çalışmada, sağlanan Folds.csv dosyası kullanılarak görüntü yolları çözümlenmiş; dosya adlarından sınıf (benign/malign) ve hasta kimliği bilgileri ayrıştırılmıştır. Tüm görüntüler tek bir çalışma dizininde birleştirilmiş, sonrasında eğitim/doğrulama/test klasör yapısı oluşturulmuş ve Şekil 1a'de verilmiştir.



Şekil 1. Görüntülere ait eğitim, doğrulama ve test verileri. a) Dataseti, b) Balanslı Data seti

Veri bölütleme. Veri, tekrarlanabilirlik için sabit tohum (ör. `random_state=47`) ile iki aşamalı biçimde ayrılmıştır: önce %10 test, kalan veriden %10 doğrulama (yaklaşık %81 eğitim / %9 doğrulama / %10 test). Eğitim setindeki sınıf dengesizliği, yalnızca eğitim aşamasında kullanılmak üzere azınlık sınıfının çoğaltılması (upsampling, yeniden örnekleme ile) ile dengelenmiş ve Tablo 1b’de verilmiştir.

Ön-işleme ve artırma. Tüm görüntüler model giriş boyutuna yeniden ölçeklendirilmiş ve [0,1] aralığına normalize edilmiştir. Aşırı uyumu azaltmak ve genelleme kabiliyetini artırmak için eğitimde şu veri artırma işlemleri kullanılmıştır: $\pm 20^\circ$ rasgele döndürme, yatay ayna, %20’e kadar yakınlaştırma. Doğrulama ve test kümelerinde yalnızca yeniden boyutlandırma ve normalizasyon uygulanmıştır.

Not: Büyütme katsayıları (40×, 100×, 200×, 400×) karışık biçimde yer aldığı için bu çalışmada tek bir model eğitilmiş; tüm büyütmelemler aynı boru hattında işlenmiştir. İstenirse büyütme-özgü modeller veya çok-görevli mimarilerle genişletilebilir.

2.2. EfficientNet-B7 Tabanlı Sınıflandırma

Bu çalışmada transfer öğrenme yaklaşımıyla EfficientNet-B7 mimarisi kullanılmıştır [2]. EfficientNet ailesi, bileşik ölçekleme (compound scaling) ilkesiyle derinlik, genişlik ve giriş çözünürlüğünü birlikte ölçeklendirerek parametre verimliliği sağlar.

Mimari kurgu. `tf.keras.applications` sürümü baz alınarak ImageNet üzerinde ön-eğitilmiş (pretrained) B7 gövdesi aktarılmış, en üst katman kaldırılarak aşağıdaki özel sınıflandırıcı kafa eklenmiştir:

- GlobalAveragePooling2D
- Dropout ($p \approx 0.4$) ile düzenleme
- Yoğun (Dense) 1 nöron, sigmoid aktivasyon (ikili sınıflandırma)

Giriş çözünürlüğü ve yığın boyutu. GPU belleği göz önünde bulundurularak giriş boyutu $\approx 380-600$ px aralığında seçilmiş (deneylerimizde varsayılan olarak 380×380 kullanılmış), etkin yığın (batch) boyutu donanıma göre ayarlanmıştır.

Kayıp, iyileştirici ve zamanlama. Kayıp fonksiyonu binary cross-entropy'dir. İyileştirici olarak Adam tercih edilmiş ve basamaklı öğrenme oranı düşürme (15 epoch'ta bir $\times 0.1$) uygulanmıştır. Aşağıdaki iki aşamalı ince ayar stratejisi izlenmiştir:

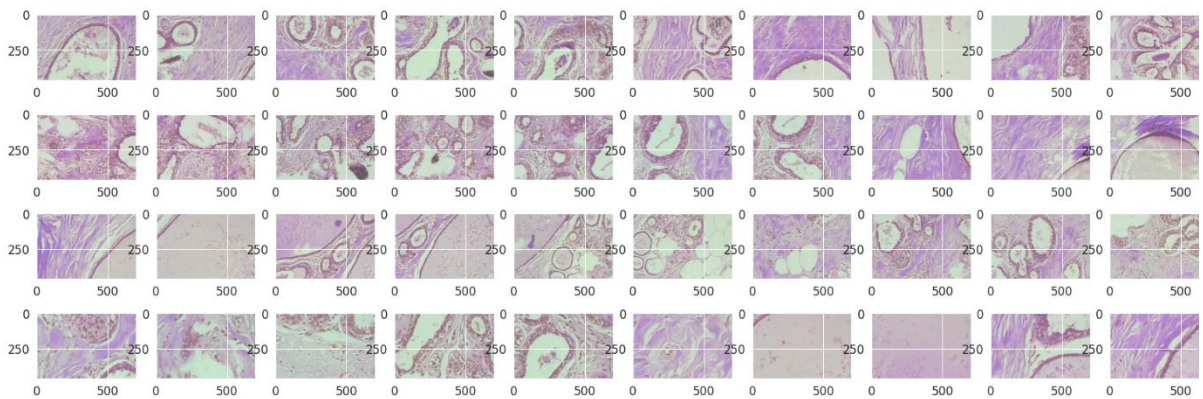
1. Dondurma aşaması: EfficientNet-B7 gövdesi dondurularak yalnızca üst sınıflandırıcı katmanlar eğitilir (ısınma).
2. İnce ayar: Gövdenin üst blokları kademeli olarak çözülür ve daha düşük öğrenme oranı ile birlikte tüm ağ birlikte eğitilir.

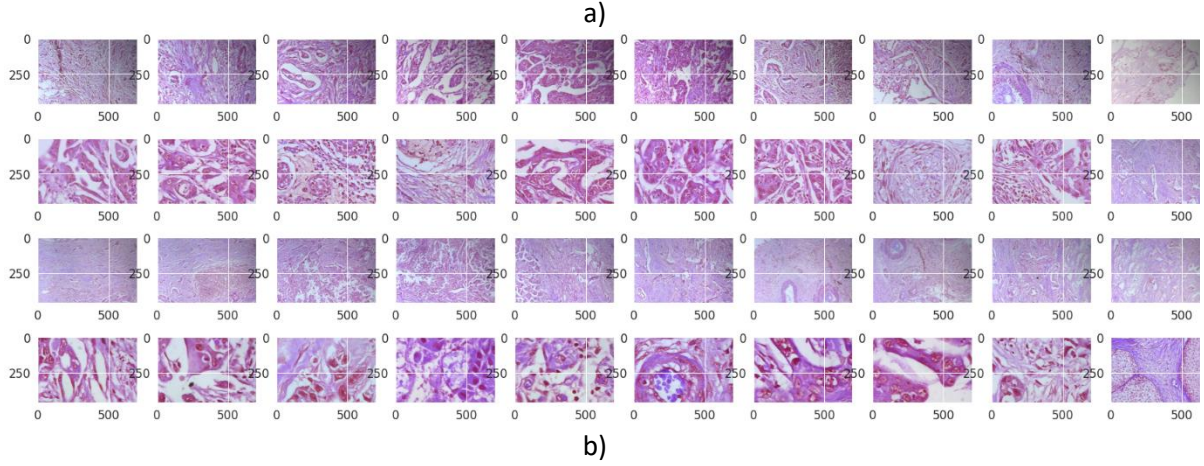
Eğitim ve durdurma. Eğitim ≈ 50 epoch olarak planlanmış; ModelCheckpoint ile en yüksek doğrulama başarımı veren anlık kopya saklanmış, EarlyStopping (gerekirse) ile aşırı uyum önlenmiştir. MirroredStrategy kullanılarak çoklu-GPU üzerinde dağıtık eğitim desteği etkinleştirilmiştir.

Değerlendirme. Test kümesinde doğruluk (Accuracy) başta olmak üzere Duyarlılık (Recall/Sensitivity), Kesinlik (Precision), F1-skoru ve ROC-AUC raporlanmış; karar eşiği 0.5 alınarak karışıklık matrisi üretilmiştir.

3. Bulgular

Bu bölümde, BreaKHis veri kümesi üzerinde EfficientNet-B7 ile elde edilen nicel ve nitel performans sonuçları sunulmaktadır. Öncelikle genel doğruluk ve temel sınıflandırma metrikleri, ardından sınıf bazlı duyarlılık, kesinlik ve F1 skorları raporlanmıştır. Öğrenme dinamikleri Şekil 3'te, sınıflama davranışı ve hata dağılımı konfüzyon matrisiyle Şekil 4'te, örnek model çıktıları ise Şekil 5'te gösterilmiştir. Sonuçlar ilgili tablolarla desteklenmiş ve klinik açıdan kritik yanlış sınıflamalar kısaca tartışılmıştır.





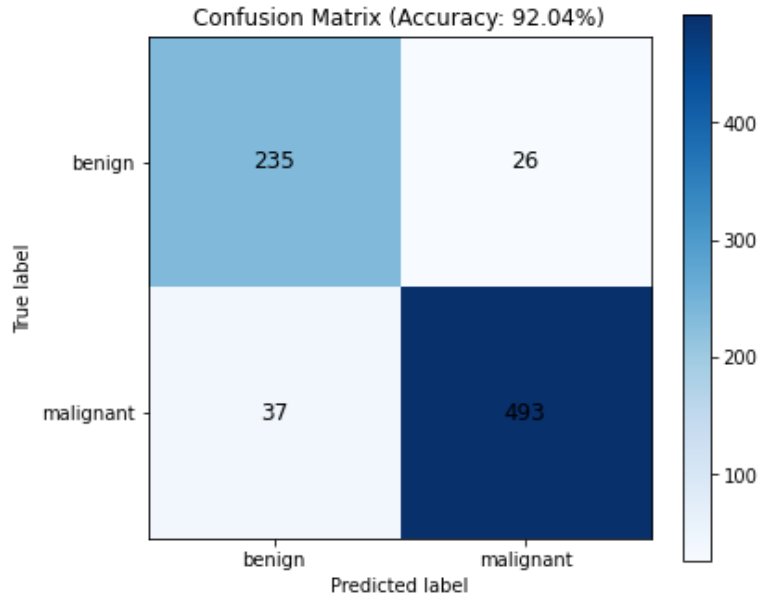
Şekil 2. BreaKHis veri kümesinden temsili meme histopatolojik görüntüler. a) Benign, b) Malignant

Tüm örnekler H&E boyalı olup farklı büyütmelerde (40×–400×) taranmış ve Şekil 2 yer verilmiştir. . Panel, sınıflar arası ve sınıf içi morfolojik çeşitliliği göstermek üzere rastgele seçilmiş görüntülerin ızgara halinde sunumudur. Benign örneklerde daha düzenli glandüler mimari, belirgin stromal sınırlar ve homojen nükleer morfoloji gözlenirken; malign örneklerde düzensiz/infiltratif yapılar, artmış nükleer-sitoplazmik oran, pleomorfizm ve solid/kribriform paternler belirgindir. Renk tonları ve doku kontrastındaki değişkenlikler, tarama ve boyama farklılıklarının etkisini yansıtarak eğitimde renk standardizasyonu ve veri artırma (döndürme, yakınlaştırma, yatay ayna) gereksinimini işaret eder. Bu çok ölçekli ve heterojen morfoloji, EfficientNet-B7'nin bileşik ölçekleme ile çok-ölçekli özellikleri etkin yakalama kapasitesi nedeniyle seçimini desteklemekte; özellikle malign alt tiplerdeki çeşitlilik yanlış negatiflerin azaltılması için eşik/kalibrasyon ve olası büyütme-özümler analizlerin önemine işaret etmektedir.



Şekil 3. EfficientNet-B7 modelinin eğitim ve doğrulama doğruluk eğrileri

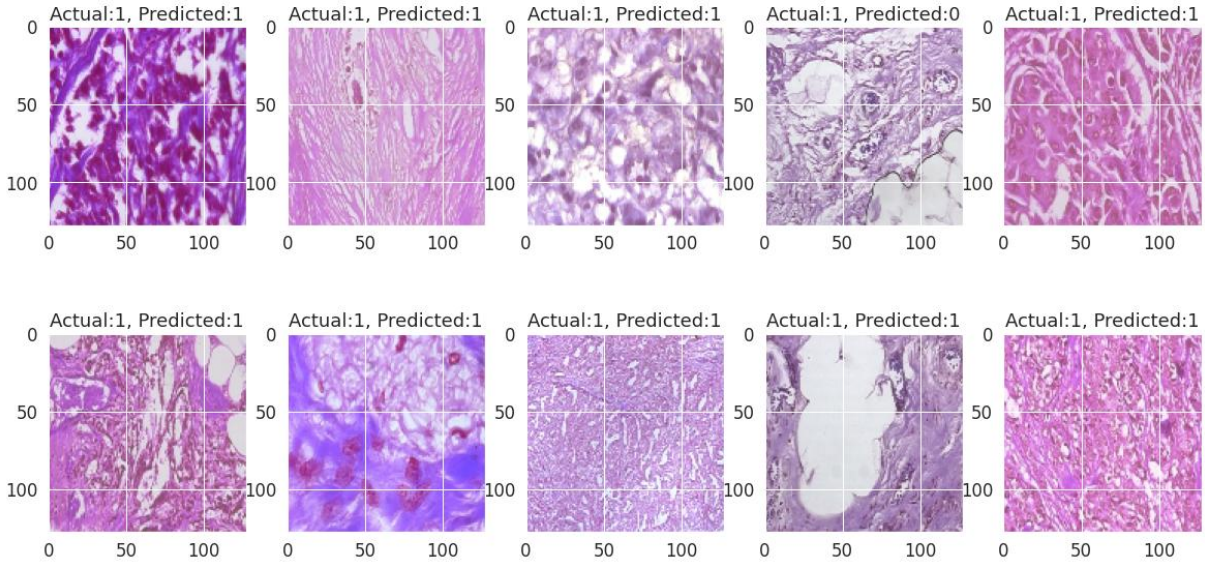
EfficientNet-B7 modelinin 50 epok boyunca izlenen öğrenme dinamikleri Şekil 3'te gösterilmiştir. İlk ~10 epokta hızlı yakınsama görülmekte, 15. epok civarındaki öğrenme oranı düşüşüyle doğrulama doğruluğu kalıcı biçimde artmaktadır. Eğitim doğruluğu yaklaşık %93, doğrulama doğruluğu %90 civarında plato yapmakta; aradaki %2–3'lük boşluk sınırlı bir aşırı uyuma işaret etmektedir. Doğrulama kaybındaki ~28. epok civarındaki geçici yükselme kısa sürede sönümlenmiştir. Eğriler, modelin kararlı bir öğrenme sergilediğini ve erken durdurma için ~35–40. epok aralığının uygun olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4. EfficientNet-B7 modelinin test verilerine ait konfüzyon matrisi

EfficientNet-B7 modelinin test verilerine ait konfüzyon matrisi Şekil 4'te gösterilmiştir. EfficientNet-B7 modelinin test verilerine ait konfüzyon matrisi; benign ve malign sınıflar için doğru/yanlış sınıflama sayıları TN=235, FP=26, FN=37, TP=493 olup genel doğruluk %92.04'tür. Malign sınıf için duyarlılık (Recall) %93.02, kesinlik (Precision) %94.99, F1-skoru %93.99; benign sınıf için özgüllük %90.04 olarak hesaplanmıştır. Yanlış pozitif sayısı (n=26) benign olguların gereksiz alarma yol açan kısmını, yanlış negatifler (n=37) ise klinik açıdan daha kritik kaçırılan malign olguları temsil etmektedir; sınıflar arası dengeyi yansıtan dengeli doğruluk %91.53'tür. Sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir.

Prediction Vs Actual Result



Şekil 5. Rastgele 10 meme kanseri verisine ait gerçek ve tahmin sonuçları.

Rastgele seçilmiş 10 histopatolojik örneğe ait gerçek (Actual) ve tahmin (Predicted) etiketlerinin karşılaştırması; gösterilen örneklerin tamamı malign (1) olup model tarafından doğru sınıflanmıştır (doğru pozitif). Nükleer pleomorfizm, düzensiz glandüler mimari ve stromal invazyon gibi atipi bulgularının model kararına yansıdığı sahneler Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu panel, modelin malign sınıfa özgü morfolojik ipuçlarını yakalama becerisini örnekler; tamamlayıcı olarak, yanlış sınıflanan örneklerin (FP/FN) incelenmesi eşik ayarı ve artırma stratejilerinin iyileştirilmesine ışık tutmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, BreaKHis veri kümesindeki çok ölçekli histopatolojik görüntülerden meme tümörü sınıflandırması için EfficientNet-B7 tabanlı bir aktarım öğrenmesi yaklaşımı sunulmuştur. Uygulanan ön-işleme ve veri artırma adımlarıyla eğitilen model, test kümesinde %92.04 doğruluk sağlamıştır (TP=493, TN=235, FP=26, FN=37). Malign sınıf için duyarlılık %93.02, kesinlik %94.99 ve F1-skoru %93.99 elde edilmiş; sınıflar arası dengeyi özetleyen dengeli doğruluk %91.53'tür. Öğrenme dinamikleri ve kayıp/doğruluk eğrileri modelin kararlı şekilde yakınsadığını göstermektedir. Bulgular, H&E boyalı histopatolojik görüntülerde derin öğrenme temelli yaklaşımların patoloji iş akışında karar destek amacıyla kullanılabileceğini ve özellikle malign olguların yakalanmasında yüksek duyarlılık sunduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, yanlış negatiflerin ($n=37$; %6.98) klinik önemi dikkate alınarak eşiğin/kalibrasyonun klinik hedefe göre ayarlanması önerilmektedir.

Kaynakça

- [1]. Akyolcu, N., Özhanlı, Y., & Kandemir, D. (2019). Meme kanserinde güncel gelişmeler. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 6(3), 583-594.
- [2] Özgür, S. N., & Keser, S. B. (2021). Meme kanseri tümörlerinin derin öğrenme algoritmaları ile sınıflandırılması. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 10(2), 212-222.
- [3] *Breast Cancer Histopathological Image Classification (BreakHis)* [Data set]. Kaggle. Retrieved October 26, 2025, from <https://www.kaggle.com/datasets/ambarish/breakhis>.
- [4] Singh, A. K., Narvey, R., & Chaudhary, V. (2021). Accurate Detection of Breast Cancer Using GLCM and LBP Features with ANN via Mammography. In *Machine Intelligence and Smart Systems: Proceedings of MISS 2020* (pp. 593-604). Singapore: Springer Nature Singapore.
- [5] Al Tawil, A., Shaban, A., & Almazaydeh, L. (2024). A comparative analysis of convolutional neural networks for breast cancer prediction. *Int. J. Electr. Comput. Eng*, 14(3), 3406-3414.
- [6] Eskandari, S., Eslamian, A., & Cheng, Q. (2025, April). Evaluating deep learning models for breast cancer classification: a comparative study. In *Medical Imaging 2025: Digital and Computational Pathology* (Vol. 13413, pp. 289-294). SPIE.
- [7] Güler, M., Sart, G., Algorabi, Ö., Adıguzel Tuylu, A. N., & Türkan, Y. S. (2025). Breast Cancer Classification with Various Optimized Deep Learning Methods. *Diagnostics*, 15(14), 1751.
- [8] Attallah, O., & Pacal, I. (2026). Impact of magnification on deep learning approaches through comprehensive comparative study of histopathological breast cancer classification. *Biomedical Signal Processing and Control*, 113, 108973.
- [9] Pacal, İ. (2022). Deep learning approaches for classification of breast cancer in ultrasound (US) images. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(4), 1917-1927.

HAQ DAĞILIMI İÇİN EN ÇOK OLABİLİRLİK TAHMİN EDİCİLERİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİNE DAYALI ETKİNLİK DEĞERLENDİRMESİ

Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL

¹ GİRESUN Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü,
hasan.huseyin@giresun.edu.tr – 0000-0001-9905-8605

ÖZET

Örnekleme yöntemleri, parametre tahmini süreçlerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmada önemli bir role sahiptir. Özellikle ölçümün maliyetli, zaman alıcı veya zor olduğu durumlarda, sıralama işleminin ölçüme kıyasla daha kolay olduğu örnekleme tasarımları ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda, Sıralı Küme Örneklemesi (SKÖ), klasik Basit Tesadüfi Örnekleme (BTÖ) yöntemine alternatif olarak parametre tahminlerinde daha etkin sonuçlar sunan güçlü bir tekniktir. Bu çalışmada, Haq dağılımının parametrelerinin tahmini, En Çok Olabilirlik (EÇO) yöntemi kullanılarak RSS tasarımı altında incelenmiştir. Çalışmanın temel amacı, RSS yönteminin sağladığı sıralama bilgisinin Haq dağılımı üzerindeki tahmin performansına etkisini değerlendirmektir.

Bu amaç doğrultusunda, kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Farklı örneklem büyüklükleri ve sıralama düzeyleri altında, tahmin edicilerin yanlışlık ve hata kare ortalaması kriterleri açısından performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, RSS temelli tahminlerin BTÖ'e kıyasla daha düşük yanlışlık ve MSE değerlerine sahip olduğunu ve dolayısıyla daha verimli sonuçlar ürettiğini göstermektedir.

Bu çalışma, Haq dağılımının istatistiksel modellemede kullanımına yeni bir bakış açısı kazandırmakta ve RSS yönteminin karmaşık dağılımlar için güçlü bir tahmin aracı olarak etkinliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Haq Dağılımı, Sıralı Küme Örneklemesi, Basit Rasgele Örnekleme, Parametre Tahmini.

1. GİRİŞ

Yaşam süresi verilerinin modellenmesi ve analizi, geçmişten günümüze istatistik, mühendislik, finans ve sağlık bilimleri gibi birçok uygulamalı alanda önemli bir araştırma konusudur. Zamanla gerçekleşen olayların (örneğin bir sistemin arızalanması, bir hastanın iyileşme süresi veya bir ürünün kullanım ömrü) doğru biçimde modellenmesi, hem bilimsel çıkarımların güvenilirliği hem de karar süreçlerinin etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır. Rasgelelik içeren doğal süreçlerin davranışlarını anlamlandırmak ve bu davranışları olasılıksal çerçevede açıklayabilmek için uygun olasılık dağılımlarının geliştirilmesi zorunludur. Ancak mevcut klasik dağılımlar, genellikle gözlemlenen verilerin karmaşık özelliklerini – özellikle çarpıklık, ağır kuyruk yapısı ve değişken tehlike oranı gibi durumları – yeterince temsil edememektedir. Bu nedenle araştırmacılar, geleneksel dağılımların yapısal avantajlarını koruyarak, daha esnek ve güçlü modelleme kabiliyetine sahip yeni dağılımlar geliştirmeye yönelmiştir.

Bu doğrultuda, yaşam süresi verilerinin modellenmesinde sıkça kullanılan üstel ve gamma dağılımları gibi standart olasılık dağılımları, genişletilmiş ve genelleştirilmiş halleriyle literatürde çeşitli alanlarda uygulanmıştır. Üstel dağılımın hafızasızlık özelliği ve sabit tehlike oranı gibi yapısal avantajları, araştırmacıları bu dağılımın türevlerini geliştirmeye teşvik etmiştir. Bu çalışmalar arasında xgamma dağılımı (Sen ve ark. [1]) ve bu dağılımın farklı biçimlerde genelleştirilmiş versiyonları önemli bir yer tutmaktadır. Xgamma dağılımı, yaşam süresi verilerini modellemede esneklik sağlaması nedeniyle daha sonra log-xgamma, weighted xgamma, inverse xgamma ve unit-xgamma gibi birçok türeyle genişletilmiştir. Yeni bir olasılık dağılımı, iki ya da daha fazla bilinen dağılımın karışımından elde edilebilmektedir. Bu çalışmada da, üstel ve xgamma dağılımlarının özel bir karışımı olan Haq dağılımı Sıralı Küme Örneklemesi (SKÖ) altında incelenmiştir.

SKÖ ölçümü zor, maliyetli veya zaman alıcı olan değişkenlerin incelendiği durumlarda kullanılan etkin bir örneklem yöntemi. Bu yöntemde, birimlerin ölçümü yerine görsel inceleme, uzman görüşü veya ilgili değişkenle yüksek korelasyona sahip bir yardımcı değişken yardımıyla sıralama yapılabilir. RSS ilk olarak McIntyre [2] tarafından meralardaki ortalama ürün miktarını tahmin etmek amacıyla, Basit Tesadüfi Örneklem (BTÖ) yöntemine alternatif olarak önerilmiştir. Takahashi ve Wakimoto [3] SKÖ'nin matematiksel teorisini geliştirmiş ve bu yöntemin altında elde edilen yığın ortalaması tahmin edicisinin yansız olduğunu göstermişlerdir. Dell ve Clutter [4] ise, sıralama hatası bulunsu dahi SKÖ ile elde edilen tahmin edicinin BTÖ'ye göre daha etkin sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır.

SKÖ yönteminde birimlerin sıralaması görsel yolla veya yardımcı değişken bilgisine dayanılarak yapıldığından, sıralama hatasını en aza indirmek amacıyla farklı modifikasyonlar geliştirilmiştir. Bu modifikasyonlardan ilki Samawi ve ark. [5] tarafından önerilen Extreme Sıralı Küme Örneklemesi (ESKÖ) yöntemidir. Daha sonra Muttalak [6] Medyan Sıralı Küme Örneklemesi (MSKÖ) yöntemini, Al-Saleh ve Al-Hadrami [7] ise Moving Extreme Sıralı Küme Örneklemesi (MESKÖ) yöntemini geliştirmiştir. Son yıllarda Zamanzade ve Al-Omari [8] tarafından Neoteric Sıralı Küme Örneklemesi (NSKÖ) adı verilen yeni bir modifikasyon önerilmiş; Taconelli ve Cabral [9] ise bunun genişletilmiş versiyonu olan Extended Neoteric Sıralı Küme Örneklemesi (ENSKÖ) üzerinde çalışmışlardır.

SKÖ ve modifikasyonları, özellikle ölçümün zor veya maliyetli olduğu alanlarda, tarım, ekoloji, çevre ve tıp araştırmaları gibi yaygın biçimde kullanılmaktadır. McIntyre'den bu yana birçok araştırmacı, SKÖ ve türevlerinin parametre tahminlerindeki etkinliğini incelemiştir. Örneğin, Stokes [10] iki değişkenli normal dağılım altında SKÖ için EÇO tahmin edicilerini incelemiştir. Shaibu ve Muttlak [11] normal, üstel ve gamma dağılımları altında SKÖ, MSKÖ ve ESKÖ yöntemleriyle parametre tahminlerini gerçekleştirmiştir. Omar ve İbrahim [12] Pareto dağılımı için SKÖ, MSKÖ ve ESKÖ tasarımlarında EÇO, moment ve düzeltilmiş en çok olabilirlik tahminlerini ele almıştır. Dey ve ark. [13] Rayleigh dağılımı için SKÖ ve türevleri altında hem EÇO hem de Bayes tahmin edicilerini incelemiştir. Shaaban [14] inverted Topp-Leone dağılımı için farklı SKÖ tasarımları altında EÇO tahmin edicilerini elde etmişlerdir. Zhang ve ark. [15] Birnbaum-Saunders dağılımının parametrelerini SKÖ tasarımı altında incelemiştir. Gül ve Koçer [16] Gompertz dağılımının parametrelerini Folded SKÖ tasarımı altında elde etmişlerdir.

Bu çalışmada Haq dağılımının bilinmeyen parametreleri, SKÖ tasarımı altında en çok olabilirlik yöntemine dayalı olarak elde edilmiştir. Bilinmeyen parametreler için kapsamlı Monte Carlo simülasyon çalışması yapılmıştır.

2. SKÖ TASARIMI VE HAQ DAĞILIMI

Bu bölümde SKÖ tasarımının algoritması ve Haq dağılımı ile ilgili detaylı bilgiler verilecektir.

2.1. Sıralı Küme Örnekleme

SKÖ'de örnek seçimi aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilir:

- Öncelikle, ilgili anakütleden m^2 birim BTÖ yöntemiyle seçilir.
- Elde edilen m^2 birim, her biri m gözlemde oluşacak şekilde m adet kümeye rasgele biçimde dağıtılır.
- Her küme içerisindeki birimler, ilgilenilen değişken açısından yardımcı bir değişken veya görsel değerlendirme yoluyla küçükten büyüğe doğru sıralanır.
- Sıralama tamamlandıktan sonra, birinci kümeden birinci sıradaki birim, ikinci kümeden ikinci sıradaki birim, ..., m 'inci birimden m 'inci sıradaki birim seçilerek bir sıralı küme örneği oluşturulur.
- Adım 1-4 r kez tekrarlanarak toplam örnek çapı n olmak üzere $n=mr$ tane gözlem birimi seçilir.

SKÖ ile örnek seçim işlemi $r=1$ için Çizelge de gösterilmiştir.

Çizelge 1. $r=1$ iken SKÖ ile örnek seçimi

Küme	Yığından seçilen gözlem birimleri	Sıralanan gözlem birimleri	Örneğe seçilen gözlem birimleri
1	$X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1m}$	$X_{1(1:m)1}, X_{1(2:m)2}, \dots, X_{1(m:m)1}$	$X_{1(1:m)1}$
2	$X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2m}$	$X_{2(1:m)1}, X_{2(2:m)2}, \dots, X_{2(m:m)1}$	$X_{2(2:m)2}$

⋮	⋮	⋮	⋮
m	$X_{m1}, X_{m2}, \dots, X_{mm}$	$X_{m(1:m)1}, X_{m(2:m)2}, \dots, X_{m(m:m)1}$	$X_{m(m:m)1}$

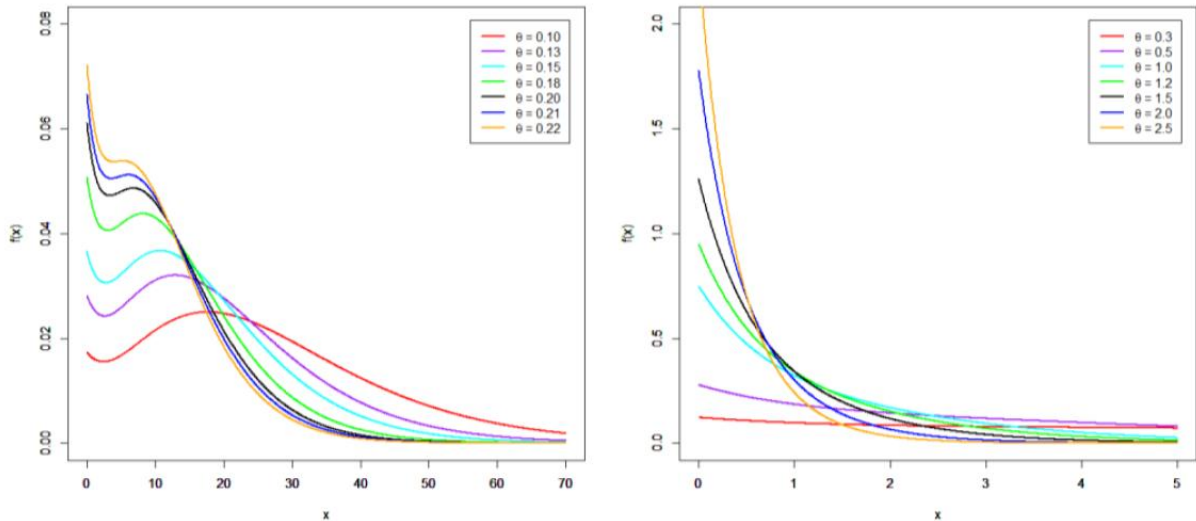
2.2. HAQ DAĞILIMI

Haq dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) ve dağılım fonksiyonu (df) sırasıyla aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x) = \left(\frac{\theta}{1+\theta}\right)^2 \left(2 + \theta + \frac{\theta x^2}{2}\right) e^{-\theta x}, \quad x > 0, \theta > 0, \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - \frac{\left(1 + 2\theta + \theta^2 + \theta x + \frac{(\theta x)^2}{2}\right)}{(1+\theta)^2} e^{-\theta x}. \quad (2)$$

Haq dağılımının farklı parametre değerleri için oyf grafikleri Görsel 1 de verilmiştir.



Görsel 1. Haq dağılımı için oyf grafikleri

3. PARAMETRE TAHMİNİ

Bu bölümde, Haq dağılımının bilinmeyen parametreleri için BTÖ ve SKÖ altında EÇO tahmin edicileri elde edilecektir.

3.1. BTÖ Altında EÇO Tahmini

$Y_1, Y_2, \dots, Y_n$ Haq dağılımından alınan n birimlik rasgele örneklem olmak üzere, bu örnekleme ilişkin olabilirlik ve log-olabilirlik fonksiyonları;

$$L(\theta|y) = \prod_{i=1}^n f(y_i|\theta) = \prod_{i=1}^n \left(\frac{\theta}{1+\theta}\right)^2 \left(2 + \theta + \frac{\theta y_i^2}{2}\right) e^{-\theta y_i}, \quad (3)$$

$$l(\theta|y) = 2n \log(\theta) - 2n \log(1 + \theta) + \sum_{i=1}^n \log \left(2 + \theta + \frac{\theta y_i^2}{2} \right) - \theta \sum_{i=1}^n y_i, \quad (4)$$

$$\frac{dl(\theta|y)}{d\theta} = \frac{2n}{\theta} - \frac{2n}{1+\theta} + \sum_{i=1}^n \frac{\left(1 + \frac{y_i^2}{2}\right)}{\left(2 + \theta + \frac{\theta y_i^2}{2}\right)} - \theta \sum_{i=1}^n y_i. \quad (5)$$

şeklinde elde edilir. θ parametresinin EÇO tahmin edicisi,

$\frac{dl(\theta|y)}{d\alpha} = 0$, olarak elde edilir. Elde edilen eşitlik sonucunda ortaya çıkan lineer olmayan denklem sistemi Nelder-Mead optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür.

3.2. SKÖ Altında EÇO Tahmini

$Y_{(i:m)j}$, j 'ninci döngüde $\text{Haq}(\theta)$ dağılımından alınan m boyutlu i 'ninci kümedeki i 'ninci sıra istatistiği olsun. Burada $i = 1, \dots, m$ ve $j = 1, \dots, r$ 'dir. m küme büyüklüğü ve r tekrar sayısı olmak üzere $Y_{(i:m)j}$ $\text{Haq}(\theta)$ dağılımından alınan $n=mr$ büyüklüğünde sıralı küme örneklemini oluşturur. $Y_{(i:m)j}$ 'nin oyf aşağıdaki gibi yazılır;

$$g_{Y_{(i:m)j}}(Y_{(i:m)j}) = \frac{m!}{(i-1)!(m-i)!} [F(Y_{(i:m)j})]^{i-1} [1 - F(Y_{(i:m)j})]^{m-i} f(Y_{(i:m)j}). \quad (6)$$

Olabilirlik fonksiyonu,

$$L(\theta|y_{(i:m)j}) = \prod_{j=1}^r \prod_{i=1}^m g_{Y_{(i:m)j}}(y_{(i:m)j}), \quad (7)$$

şeklindedir. Buradan log-olabilir fonksiyonu Eş. (8) deki gibi elde edilir:

$$l(\theta) = mr \ln(K) + 2mr \ln(\theta) - 2mr \ln(1 + \theta) + \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m \ln \left(2 + \theta + \frac{\theta x_{ij}^2}{2} \right) - \theta \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m x_{ij} \quad (8)$$

$$\frac{dl(\theta|y)}{d\theta} = \frac{2mr}{\theta} - \frac{2mr}{1+\theta} + \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m \frac{\left(1 + \frac{\theta x_{ij}^2}{2}\right)}{\left(2 + \theta + \frac{\theta x_{ij}^2}{2}\right)} - \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^m x_{ij} = 0 \quad (9)$$

şeklinde elde edilir. Burada $K = \frac{m!}{(i-1)!(m-i)!}$ biçimindedir. Lineer olmayan denklem sistemlerinin analitik yöntemlerle çözümü genellikle karmaşık ve güçtür. Bu nedenle bu çalışmada çözüm, Nelder-Mead optimizasyon algoritması yardımıyla elde edilmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu bölümde, Haq dağılımının parametrelerinin tahmininde kullanılan BTÖ ve SKÖ yaklaşımlarına dayalı EÇO tahmin edicilerinin performanslarını karşılaştırmak amacıyla kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, tahmin edicilerin etkinliği yan ve HKO kriterleri üzerinden değerlendirilmiştir. Simülasyonlar, farklı örnek büyüklükleri ve parametre kombinasyonları altında yürütülmüştür. DeneySEL tasarımı örnek büyüklükleri $n = 12, 24, 36$ ve 48 olarak belirlenmiştir. Parametre değerleri ise dağılımın şekil parametresi θ için $0.5, 1.0, 1.5$ ve 2.0 olmak üzere dört farklı düzeyde alınmıştır. Her değeri için, RSS tasarımı kapsamında çeşitli m ve r kombinasyonları dikkate alınmıştır. Her bir senaryo için tahmin işlemi 1000 tekrarlı Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Her tekrar adımı, belirlenen θ parametresine göre Haq dağılımından rastgele örnekler üretilmiş, ardından RSS yöntemine dayalı örnekleme uygulanmış ve EÇO tahminleri hesaplanmıştır. Simülasyonların tamamı MATLAB ortamında hazırlanmış ve “*fminsearch*” algoritması ile yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2-3’te verilmiştir.

Çizelge 2. $\theta = 0.5$ parametresi için yan ve HKO değerleri.

n	SRS		$m;r$	RSS	
	Yan	HKO		Yan	HKO
12	0.0357	0.0297	3*4	0.0344	0.0287
			4*3	0.0339	0.0280
			6*2	0.0334	0.0275
24	0.0128	0.0094	3*8	0.0122	0.0092
			4*6	0.0106	0.0090
			6*4	0.0097	0.0086
36	0.0057	0.0059	3*12	0.0054	0.0056
			4*9	0.0053	0.0055
			6*6	0.0052	0.0054
48	0.0025	0.0039	3*16	0.0023	0.0034
			4*12	0.0021	0.0033
			6*8	0.0019	0.0032

Çizelge 3. $\theta = 1.5$ parametresi için yan ve HKO değerleri.

n	SRS		$m;r$	RSS	
	Yan	HKO		Yan	HKO
12	0.1738	0.3656	3*4	0.1640	0.3319
			4*3	0.1616	0.3261
			6*2	0.1598	0.3215
24	0.0750	0.1182	3*8	0.0732	0.1028
			4*6	0.0726	0.1015
			6*4	0.0711	0.1008
36	0.0489	0.0713	3*12	0.0440	0.0631
			4*9	0.0433	0.0614
			6*6	0.0417	0.0603

48	0.0364	0.0504	3*16	0.0408	0.0425
			4*12	0.0397	0.0411
			6*8	0.0389	0.0402

Elde edilen sonuçlara bakıldığında;

- Örnek çapı arttıkça yan ve HKO değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum tahmin edicilerin tutarlı olduğunu göstermektedir.
- Yan değerlerine bakıldığında, $\alpha = 0.2, \lambda = 2.0$ durumu hariç diğer tüm parametre kombinasyonlarında $\hat{\lambda}$ tahmin edicisi daha düşük yan değerlerine sahiptir.
- HKO değerlerine bakıldığında, yine $\alpha = 0.2, \lambda = 2.0$ durumu hariç diğer tüm parametre kombinasyonlarında $\hat{\lambda}$ tahmin edicisi daha düşük HKO değerlerine sahiptir.
- Örneklem yöntemlerine bakıldığında ise genel olarak en düşük yan ve HKO değerlerine sahip yöntem HSKÖ yöntemidir. HSKÖ yöntemini sırasıyla SKÖ ve BTÖ izlemektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Sen, S., Maiti, S. S., & Chandra, N. (2016). The xgamma distribution: statistical properties and application. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, 15(1), 38.
- [2] McIntyre, G. A. A method for unbiased selective sampling, using ranked sets, *Australian journal of agricultural research*, 3(4), 385-390, 1952.
- [3] Takahasi, K., Wakimoto, K. On unbiased estimates of the population mean based on the sample stratified by means of ordering, *Annals of the institute of statistical mathematics*, 20(1), 1-31, 1968.
- [4] Dell, T. R., Clutter, J. L. Ranked set sampling theory with order statistics background, *Biometrics*, 545-555, 1972.
- [5] Samawi, H. M., Ahmed, M. S., Abu-Dayyeh, W. Estimating the population mean using extreme ranked set sampling, *Biometrical Journal*, 38(5), 577-586, 1996.
- [6] Muttlak, H. Median ranked set sampling, *J Appl Stat Sci*, 6, 245-255, 1997.
- [7] Al-Saleh, M. F., Al-Kadiri, M. A. Double-ranked set sampling, *Statistics & Probability Letters*, 48(2), 205-212, 2000.
- [8] Zamanzade, E., & Al-Omari, A. I. (2016). New ranked set sampling for estimating the population mean and variance. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 45(6), 1891-1905.
- [9] Taconeli, C. A., & Cabral, A. D. S. (2019). New two-stage sampling designs based on neoteric ranked set sampling. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 89(2), 232-248.
- [10] Stokes, S. L. (1980). Inferences on the correlation coefficient in bivariate normal populations from ranked set samples. *Journal of the American Statistical Association*, 75(372), 989-995.
- [11] Omar, A., Ibrahim, K., 2013. Estimation of the shape and scale parameters of the pareto distribution using extreme ranked set sampling. *Pakistan Journal of Statistics* 29.
- [12] Shaibu, A.B., & Muttlak, H.A. (2004). Estimating the parameters of the normal, exponential and gamma distributions using median and extreme ranked set samples. *Statistica*, 64(1), 75-98.

- [13] Dey, S., Raheem, E., Mukherjee, S., Ng, H.K.T., 2017. Two parameter exponentiated gumbel distribution: properties and estimation with flood data 222 example. *Journal of Statistics and Management Systems* 20, 197–233.
- [14] Shaaban, M. (2023). Parameter estimation for inverted topp-leone distribution based on different ranked set sampling schemes. *Thailand Statistician*, 21(3), 660-674.
- [15] Zhang, J., Chen, W., & Yang, R. (2025). Birnbaum-Saunders parameters estimation using simple random sampling and ranked set sampling. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 54(9), 3624-3643.
- [16] Gul, H. H., & Yeniay Koçer, N. (2025). Estimation of the Gompertz distribution's parameters under folded ranked set sampling. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 43(3).

DUS DÖNÜŞÜM TEKNİĞİNE DAYALI YENİ BİR YAŞAM SÜRESİ DAĞILIMININ İSTATİSTİKSEL ÖZELLİKLERİ VE PARAMETRE TAHMİNİ

Doç. Dr., HASAN HÜSEYİN GÜL

¹ GİRESUN Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü,
hasan.huseyin@giresun.edu.tr – 0000-0001-9905-8605

ÖZET

Gerçek veri kümelerinin doğru biçimde analiz edilmesi ve modellenmesi, istatistik, mühendislik, finans ve tıp gibi birçok uygulamalı bilim alanında büyük önem taşımaktadır. Doğal süreçlerdeki rasgelelik ve belirsizlik, sistemlerin ömür veya bozulma davranışlarının farklı biçimlerde ortaya çıkmasına neden olur. Bu tür rasgele davranışların modellenmesinde yaşam süresi dağılımları önemli bir araçtır. Ancak, mevcut standart dağılımlar çoğu zaman gözlemlenen verilerin davranışını yeterince iyi temsil edememekte ve bu durum araştırmacıları yeni, daha esnek dağılım aileleri geliştirmeye yönlendirmektedir.

Bu çalışmada, DUS dönüşüm tekniği kullanılarak DUS-Weibull (DW) adlı yeni bir dağılım önerilmiştir. DUS tekniği, ek parametre gerektirmeden, yorumlaması kolay ve hesaplama açısından avantajlı yeni dağılımlar üretmeyi mümkün kılmaktadır. DW dağılımının temel istatistiksel özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş; dağılımın momentleri, moment üreten fonksiyonu, basıklık ve çarpıklık katsayıları ile quantil fonksiyonu elde edilmiştir.

Ayrıca, DW dağılımına ait bilinmeyen parametrelerin tahmini için farklı istatistiksel yöntemler değerlendirilmiş ve bu yöntemlerin performansları Monte Carlo simülasyon çalışması aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçları, önerilen dağılımın parametrik tahmin açısından güvenilir ve esnek bir yapı sunduğunu göstermektedir. Bu çalışma, DUS dönüşüm tekniğine dayalı yeni dağılımların yaşam verilerinin modellenmesinde kullanılabilirliğini göstererek literatüre önemli bir katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: DUS-Webiull Dağılımı, Monte Carlo Simülasyonu, En Çok Olabilirlik Tahmini, Momentler.

1. GİRİŞ

İstatistik, mühendislik, tıp ve finans gibi uygulamalı bilim alanlarında gerçek veri setlerinin doğru biçimde analiz edilmesi ve modellenmesi büyük önem taşımaktadır. Doğada gözlenen rastlantısallık nedeniyle sistemlerin bozulma davranışları, kendi içsel mekanizmalarına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu tür bozulma süreçleri, uygun istatistiksel modeller yardımıyla açıklanabilir. Bu doğrultuda, literatürde gerçek verileri tanımlamak amacıyla çok sayıda olasılık dağılımı önerilmiştir (Sharma ve ark., [1]). Ancak, mevcut standart dağılımların çoğu, gözlemlenen verileri yeterli düzeyde temsil etmekte yetersiz kalmaktadır.

Araştırmacılar bu yetersizliği gidermek amacıyla mevcut dağılımları genelleştirme ya da yeni dağılım aileleri geliştirme yönünde önemli çabalar göstermiştir. Üstel, Weibull, inverse Weibull, Gamma, Rayleigh ve Pareto gibi dağılımlar; yaşam süresi verilerini ve bileşenlerin arıza oranlarını modellemede sıklıkla kullanılmaktadır (Maurya ve ark., [2]). Bununla birlikte, bu dağılımların bazıları yalnızca monoton veya yalnızca monoton olmayan bozulma oranlarını açıklayabildiğinden, pratik uygulamalarda esneklikleri sınırlı kalmaktadır (Alshangiti ve ark., [3]).

Standart dağılımların bu tür kısıtları, araştırmacıları daha esnek ve kapsamlı modeller geliştirmeye yönlendirmiştir [3]. Bir dağılıma yeni parametrelerin eklenmesi veya dönüşüm teknikleriyle genişletilmesi, dağılımın esnekliğini artırmanın etkili bir yoludur. Bu kapsamda literatürde çeşitli genelleştirme yaklaşımları geliştirilmiştir. Örneğin, Kumaraswamy [4] iki ölçek parametresi ekleyerek Kumaraswamy genelleştirmesini (KWG), Mudholkar ve Srivastava [5] üç parametrelili genelleştirilmiş Weibull dağılımını önermiştir. Benzer şekilde, Gupta ve ark., [6] Lehmann Tip I dağılımı olarak bilinen genelleştirilmiş Üstel dağılımını, Nadarajah ve Kotz [7] genelleştirilmiş Gamma, Frechet ve Gumbel dağılımlarını, Cordeiro ve ark., [8] ise iki ölçek parametresi ekleyerek yeni bir dağılım sınıfını tanımlamıştır. Shaw ve Buckley [9] tarafından geliştirilen Quadratic Rank Transmutation Map (QRTM) yöntemi de parametre eklemeye dayalı bir dönüşüm tekniği olarak literatürde önemli yer tutmaktadır. Bu yöntem son yıllarda yoğun biçimde incelenmiş ve QRTM temelli birçok yeni dağılım türetilmiştir. Örneğin, Aryal ve Tsokos [10] transmuted Extreme Value dağılımını, Aryal ve Tsokos [11] transmuted Weibull dağılımını, Merovci [12] transmuted Lindley dağılımını, Merovci ve Puka [13] transmuted Pareto dağılımını, Mahmoud ve Mandouh [14] ise transmuted Frechet dağılımını önermiştir.

Tüm bu dönüşüm tekniklerinin ortak yönü, yeni bir ya da birden fazla parametre ekleyerek esnekliği artırmalarıdır. Ancak bu durum modelin hesaplama karmaşıklığını da artırır. Diğer bir deyişle, ek parametreler modelin esnekliğini geliştirirken, aynı zamanda parametre tahmini ve çıkarım süreçlerinde zorluklara neden olabilir (Maurya, Singh ve Singh, 2017).

Bu bağlamda Kumar ve ark., [15], DUS (Distribution Using Survival) olarak adlandırılan, ek parametre içermeyen ve hesaplama sürecini sadeleştiren bir dönüşüm tekniği geliştirmiştir. Bu yöntem, temel dağılımı koruyarak esnekliği artırmakta ve aynı zamanda tüm bozulma oranı biçimlerini (monoton, artan, azalan, U-şekilli vb.) kapsayabilen yeni yaşam süresi dağılımları elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Benzer bir yaklaşım izleyen Maurya ve ark., [16], logaritmik

dönüşüm adı verilen farklı bir teknikle yeni bir yaşam süresi dağılımı önermiştir. Ayrıca, Maurya ve ark., [17], [15] DUS yöntemini genişleterek GDUS adını verdikleri bir dönüşüm yöntemi geliştirmiştir.

Bu çalışmada, [15] tarafından önerilen DUS dönüşüm tekniğini kullanarak DUS-Weibull (DW) dağılımını önerilmiştir. Önerilen dağılımın momentleri, çarpıklık ve basıklık katsayıları, moment üreten ve quantile fonksiyonları gibi temel istatistiksel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca DW dağılımının parametreleri için En Çok Olabilirlik (EÇO) yöntemiyle tahmin ediciler elde edilmiş; bu tahmin edicilerin performansları, farklı parametre değerleri ve örnek büyüklükleri altında Monte Carlo simülasyonları kullanılarak karşılaştırılmıştır.

2. DUS DÖNÜŞÜM TEKNİĞİ VE DW DAĞILIMI

2.1. Weibull Dağılımı

Weibull dağılımı ilk olarak Waloddi Weibull tarafından makinelerin yaşam sürelerini modellemek amacıyla önerilmiş bir dağılımdır (Weibull, [18]). Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF) ve dağılım fonksiyonu (DF) aşağıda verildiği gibidir:

$$f(x; \sigma, \beta) = \frac{\beta}{\sigma^\beta} x^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right), x \geq 0, \beta, \sigma > 0 \quad (1)$$

$$F(x; \sigma, \beta) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right) \quad (2)$$

burada β şekil parametresi ve σ ölçek parametresidir.

2.2. DUS Dönüşüm Tekniği

[15] bazı temel dağılımları kullanarak yeni bir dağılım elde etmek için DUS dönüşüm tekniği önermişlerdir. $g(x)$ ve $G(x)$ sırasıyla temel dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) ile dağılım fonksiyonu (df) olmak üzere, yeni dağılımın oyf ve df aşağıdaki gibidir:

$$g(x) = \frac{1}{e-1} f(x) e^{F(x)} \quad (3)$$

$$G(x) = \frac{1}{e-1} [e^{F(x)} - 1] \quad (4)$$

Kumar ve ark. bu tekniği DUS dönüşüm tekniği olarak adlandırmışlardır. Bu teknik bir genelleştirme değil dönüşümdür. Ayrıca bu dönüşüm tekniğinin en önemli avantajı, temel dağılımda yer alan parametreler dışında herhangi bir yeni parametre içermemesidir.

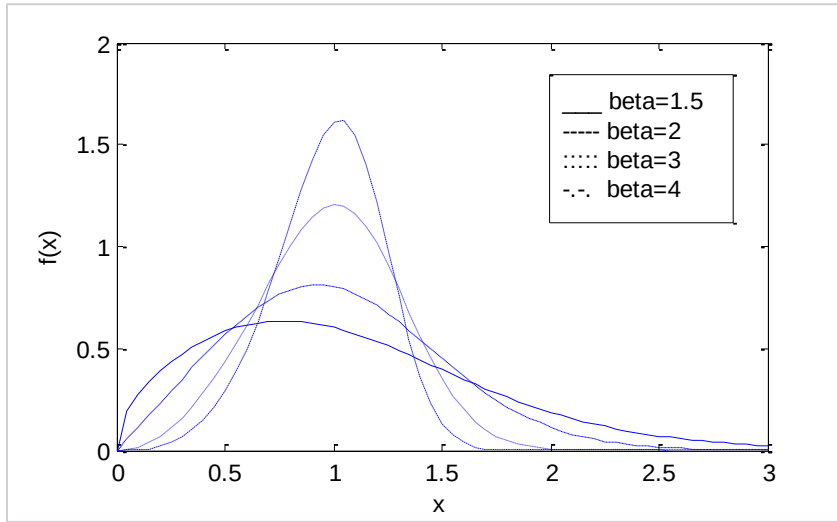
2.3. DW Dağılımı

DW dağılımının oyf ve df aşağıda verildiği gibidir:

$$g(x; \sigma, \beta) = \frac{1}{e-1} f(x) e^{F(x)} = \frac{1}{e-1} \frac{\beta}{\sigma^\beta} x^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right) \exp\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right)\right), \quad (5)$$

$$G(x; \sigma, \beta) = \frac{1}{e-1} (e^{F(x)} - 1) = \frac{1}{e-1} \left(\exp\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right)\right) - 1 \right), \quad (6)$$

DW dağılımının bazı parametre değerleri için oyf grafiği Görsel 1 de verilmiştir.



Görsel 1. DW dağılımının β 'nın farklı değerleri için oyf grafiği.

2.4. DW Dağılımının Momentleri, Basıklık ve Çarpıklık Katsayıları

DW dağılımının r . momentini aşağıda verildiği gibidir:

$$E(X^r) = \int_0^\infty x^r \frac{1}{e-1} \frac{\beta}{\sigma^\beta} x^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right) \exp\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right)\right) dx \quad (7)$$

DW dağılımının r . momentini kullanarak beklenen değer ve varyansı aşağıdaki gibi elde edilir:

$$E(X) = \frac{e\sigma}{e-1} \Gamma\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) T_1 \quad (8)$$

$$V(X) = \frac{e\sigma^2}{e-1} \left(\Gamma\left(\frac{2}{\beta} + 1\right) T_2 - \frac{e}{e-1} \Gamma^2\left(\frac{1}{\beta} + 1\right) T_1^2 \right). \quad (9)$$

Burada $\sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!} \frac{1}{(1+m)^{(r/\beta)+1}} = T_r$ olarak tanımlanır.

Çarpıklık ve basıklık katsayıları Eş. (10) ve Eş. (11) de verilmiştir:

$$\gamma_1 = \frac{\mu_3}{\sigma^3} = \frac{E(X^3) - 3E(X^2)E(X) + 3E(X)E(X)^2 - (E(X))^3}{(\sigma^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{\left(\frac{e\sigma^3}{e-1} \Gamma_3 T_3 - 3 \frac{e\sigma^2}{e-1} \Gamma_2 T_2 \frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 + 2 \left(\frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 \right)^3 \right)}{\left(\frac{e\sigma^2}{e-1} \Gamma_2 T_2 - \left(\frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 \right)^2 \right)^{3/2}}, \quad (10)$$

$$\gamma_2 = \frac{\mu_4}{\sigma^4} = \frac{E(X^4) - 4E(X^3)E(X) + 6E(X^2)(E(X))^2 - 4(E(X))^4 + (E(X))^4}{(\sigma^2)^2}$$

$$= \frac{E(X^4) - 4E(X^3)E(X) + 6E(X^2)(E(X))^2 - 3(E(X))^4}{(\sigma^2)^2}$$

$$= \frac{\left(\frac{e\sigma^4}{e-1} \Gamma_4 T_4 - 4 \frac{e\sigma^3}{e-1} \Gamma_3 T_3 \frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 + 6 \frac{e\sigma^2}{e-1} \Gamma_2 T_2 \left(\frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 \right)^2 - 3 \left(\frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 \right)^3 \right)}{\left(\frac{e\sigma^2}{e-1} \Gamma_2 T_2 - \left(\frac{e\sigma}{e-1} \Gamma_1 T_1 \right)^2 \right)^2}. \quad (11)$$

2.5. DW Dağılımının Quantile Fonksiyonu ve Moment Çıkaran Fonksiyonu

$Q(p)$, quantile fonksiyonunu göstermek üzere, $Q(p) = F^{-1}(p)$ eşitliğinden DW dağılımının quantile fonksiyonu:

$$Q(p) = F^{-1}(p)$$

$$Q(p) = \sigma \sqrt{-\ln(1 - \ln(p(e-1)+1))}. \quad (12)$$

DW dağılımının moment çıkaran fonksiyonu aşağıda verildiği gibidir:

$$\mu_x(t) = E(e^{tx}) = \int_0^\infty e^{tx} \frac{1}{e-1} \frac{\beta}{\sigma^\beta} x^{\beta-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right) \exp\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{\sigma}\right)^\beta\right)\right) dx$$

3. PARAMETRE TAHMİNİ

$X_1, X_2, \dots, X_n$ DW dağılımından alınan n birimlik rasgele örneklem olmak üzere, bu örnekleme ilişkin olabilirlik ve log-olabilirlik fonksiyonları aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$L(\sigma, \beta) = \left(\frac{e}{e-1} \right)^n \beta^n \sigma^{-\beta n} \left(\prod_{i=1}^n x_i \right)^{\beta-1} \exp \left(- \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \right) \exp \left(\sum_{i=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \right) \right), \quad (13)$$

$$\ln L(\sigma, \beta) = sbt + n \ln(\beta) - n\beta \ln(\sigma) + (\beta-1) \ln \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta + \sum_{i=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \right) \quad (14)$$

Eş. (14) deki log-olabilirlik fonksiyonun ölçek ve şekil parametrelerine göre türevi alınıp sıfıra eşitlenerek aşağıdaki olabilirlik denklemleri elde edilir:

$$\frac{\partial l}{\partial \sigma} = -\frac{\beta n}{\sigma} + \frac{\beta}{\sigma^{\beta+1}} \sum_{i=1}^n x_i^\beta - \frac{\beta}{\sigma^{\beta+1}} \sum_{i=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \right) x_i^\beta = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \beta} = \frac{n}{\beta} - n \ln(\sigma) + \ln \left(\prod_{i=1}^n x_i \right) - \frac{1}{\sigma^\beta} \sum_{i=1}^n (x_i)^\beta \ln(x_i) - \sum_{i=1}^n \exp \left(- \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \right) \left(\frac{x_i}{\sigma} \right)^\beta \ln \left(- \frac{x_i}{\sigma} \right) = 0 \quad (16)$$

Eş. (15) ve (16)'da verilen iki olabilirlik denkleminin aynı anda çözülmesi gerekmektedir. Ancak bu denklemler kapalı formda çözülememektedir. Bu nedenle çözümün elde edilmesinde sayısal yöntemler kullanılmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu bölümde, DW dağılımının parametreleri için EÇO tahmin edicileri elde edilmiş ve bu tahmin edicilerin performansları bir Monte-Carlo simülasyon çalışması ile değerlendirilmiştir. Örnek çapları $n = 30, 50, 100$ olarak seçilmiştir. Dağılımın parametre değerleri ise $\sigma = 1.0$ ve $\beta = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ olacak şekilde farklı düzeylerde belirlenmiştir. Her bir senaryo için 10.000 tekrar yapılmış, elde edilen tahminlerin performansı ortalama değer ve HKO ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tüm simülasyonlar MATLAB programında, “fminsarch” optimizasyon algoritması ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. $\theta = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ parametreleri için ortalama ve HKO değerleri.

		$\hat{\sigma}$		$\hat{\beta}$	
β	n	Ort.	HKO	Ort.	HKO
0,5	30	1,058	0,159	0,523	0,007
	50	1,042	0,094	0,515	0,004
	100	1,016	0,044	0,507	0,001
1.0	30	1,015	0,035	1,052	0,030
	50	1,006	0,020	1,028	0,015

	100	1,002	0,008	1,011	0,009
2.0	30	1,002	0,008	2,101	0,121
	50	1,002	0,005	2,060	0,063
	100	1,001	0,002	2,028	0,028
3.0	30	0,999	0,003	3,142	0,273
	50	1,001	0,002	3,091	0,143
	100	1,001	0,001	3,044	0,065

Elde edilen sonuçlara bakıldığında;

- Örnek çapı arttıkça ortalama ve HKO değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durum tahmin edicilerin tutarlı olduğunu göstermektedir.
- $n = 30$ için elde edilen HKO değerlerinin yüksek olması, küçük örneklemelerde EÇO tahmin edicisinin varyansının görece yüksek olduğunu ve tahminlerin daha fazla dağılma gösterdiğini ortaya koymaktadır.
- $n = 100$ için elde edilen ortalama değerlerinin 1'e doğru yaklaştığı görülmektedir.
- HKO değerlerinin her iki parametre için de örnek büyüklüğünün artışıyla birlikte azalma göstermesi, EÇO tahmin edicisinin etkinliğini ve yüksek örneklem verimliliğini doğrulamaktadır.
- EÇO yöntemi özellikle orta ve büyük örneklemelerde oldukça başarılı performans sergilemiş, düşük HKO değerleriyle yüksek tahmin doğruluğu sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Sharma, V. K., Singh, S. K., and Singh, U. (2014). A new upside-down bathtub shaped hazard rate model for survival data analysis. *Applied Mathematics and Computation*, 239, 242-253.
- [2] Maurya, S. K., Kaushik, A., Singh, R. K., Singh, S. K., and Singh, U. (2016). A new method of proposing distribution and its application to real data. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(6).
- [3] Alshangiti, A. M., Kayid, M., and Alarfaj, B. (2014). A new family of Marshall–Olkin extended distributions. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 271, 369-379.
- [4] Kumaraswamy, P. (1980). A generalized probability density function for double-bounded random processes. *Journal of Hydrology*, 46(1-2), 79-88.
- [5] Mudholkar, G. S., and Srivastava, D. K. (1993). Exponentiated Weibull family for analyzing bathtub failure-rate data. *IEEE transactions on reliability*, 42(2), 299-302.
- [6] Gupta, R. C., Gupta, P. L., and Gupta, R. D. (1998). Modeling failure time data by Lehman alternatives. *Communications in Statistics-Theory and methods*, 27(4), 887-904.
- [7] Nadarajah, S., and Kotz, S. (2006). The exponentiated type distributions. *Acta Applicandae Mathematica*, 92(2), 97-111.
- [8] Cordeiro, G. M., Ortega, E. M., and da Cunha, D. C. (2013). The exponentiated generalized class of distributions. *Journal of Data Science*, 11(1), 1-27.

- [9] Shaw, W. T., and Buckley, I. R. (2007). The alchemy of probability distributions: Beyond gram-charlier & cornish-fisher expansions, and skew-normal or kurtotic-normal distributions. Submitted, 7, 64.
- [10] Aryal, G. R., and Tsokos, C. P. (2009). On the transmuted extreme value distribution with application. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 71(12), 1401-1407.
- [11] Aryal, G. R., and Tsokos, C. P. (2011). Transmuted Weibull distribution: A generalization of the Weibull probability distribution. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 4(2), 89-102.
- [12] Merovci, F. (2013). Transmuted lindley distribution. *International Journal of Open Problems in Computer Science and Mathematics*, 238(1393), 1-20.
- [13] Merovci, F., and Puka, L. (2014, January). Transmuted pareto distribution. In *ProbStat Forum*, 7, 1-11.
- [14] Mahmoud, M. R., and Mandouh, R. M. (2013). On the transmuted Fréchet distribution. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(10), 5553-5561.
- [15] Kumar, D., Singh, U., and Singh, S. K. (2015). A method of proposing new distribution and its application to Bladder cancer patients data. *Journal of Statistics Applications & Probability Letters*, 2(3), 235-245.
- [16] Maurya, S. K., Kaushik, A., Singh, R. K., Singh, S. K., and Singh, U. (2016). A new method of proposing distribution and its application to real data. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, 2(6).
- [17] Maurya, S. K., Kaushik, A., Singh, S. K., and Singh, U. (2017). A new class of distribution having decreasing, increasing, and bathtub-shaped failure rate. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 46(20), 10359-10372.
- [18] Weibull, W. A. (1938). A statistical theory of the strength of material. *Ingvetensk. Akad. Handl*, 151, 5-45.

MECHANICAL PROPERTIES AND AUXETIC BEHAVIOR OF HONEYCOMB CORE SANDWICH NANOPLATES

Dr. Öğrt. Üyesi Mustafa Buğday^{1,2,*}, Prof. Dr. İsmail Esen¹

¹ *Department of Mechanical Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey*

² *Eskipazar Vocational School Rail Systems Machining Program, Karabuk University, Karabuk, Turkey*

*Corresponding author: mustafabugday@karabuk.edu.tr

Abstract

This study develops a theoretical model to examine the mechanical response of honeycomb-core sandwich nanosheets using higher-order shear deformation theory combined with nonlocal strain gradient elasticity, considering thickness strain effects. The results reveal that the elastic moduli (E_{11} and E_{22}) and Poisson's ratio (ν_{21}) are highly sensitive to the inclination angle (θ). At lower angles, a gradual reduction is observed, while beyond $\theta = 75^\circ$ the elastic moduli sharply increase, and Poisson's ratio significantly decreases. These findings demonstrate the strong influence of geometric configuration on auxetic behavior and structural performance. The proposed framework offers useful insights for designing lightweight, high-strength nanostructures, with potential applications in aerospace, biomedical implants, and advanced composites. Future work will focus on experimental validation and the extension of the model to dynamic and thermal loading conditions.

Keywords: Auxetic structures; FGM; Nonlocal elasticity; Ti-6Al-4V; Nickel

1. Introduction

Honeycomb cores are widely utilized in the design of lightweight structures across various engineering fields due to their remarkable mechanical properties, particularly their high stiffness-to-weight and strength-to-weight ratios [1–5]. These cores can be fabricated from different materials, including polymers, metals, and ceramics, such as aluminum, carbon, fiberglass, alumina, and Kevlar [6]. The honeycomb configuration is recognized for its superior structural performance, offering advantages such as high strength, shear stiffness, impact resistance, low density, excellent energy absorption capacity, high crushing stress, and uniform crushing response [7–10]. Because of these features, honeycomb cores are extensively applied in the aerospace industry, especially in sandwich structures, where their lightweight nature, fatigue resistance, and ability to provide smooth surfaces are particularly valuable [11].

The mechanical behavior of sandwich nanoplates has attracted significant attention in literature due to their wide range of applications. In this study, the mechanical properties of auxetic honeycomb-core sandwich nanoplates were analyzed using a higher-order shear deformation theory combined with nonlocal integral elasticity and strain gradient elasticity, while accounting for thickness stretching effects. The biocompatible nanosheet, composed of Ti-6Al-4V and nickel layers, demonstrated mechanical responses that suggest promising applications in advanced aerospace technologies, biomedical devices, wearable systems, and the protection of nanoelectromechanical systems.

2. Configure of the nanoplate

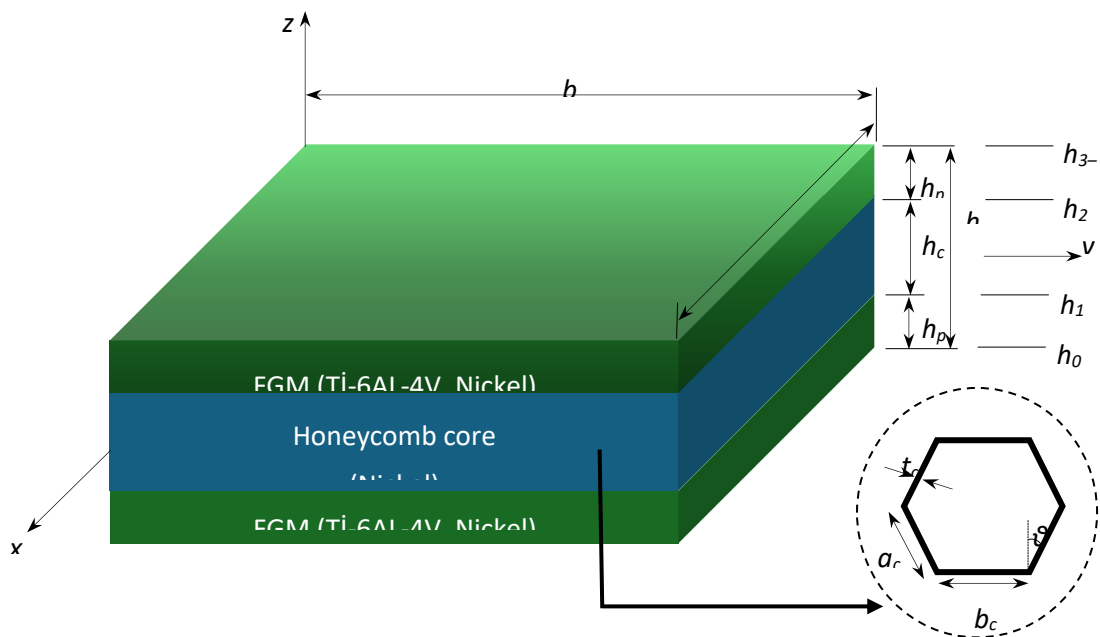


Figure 1. Structural schematic of the sandwich nanoplate model

Figure 1a illustrates a schematic depiction of the sandwich nanoplate being studied, and Figure 1b represents the honeycomb structure used in core layer. The sandwich structure has a bottom FGM layer at the z -coordinate $z = h_1 - h_0$, and it has the honeycomb core layer at the z -coordinate $z = h_2 - h_1$, and finally has top FGM layer at the z -coordinate $z = h_3 - h_2$. The thicker layer of top and bottom layers is h_p and one of the core layers is h_c . The following are the characteristics of the honeycomb core that are given as (Eq. 1a-e). The internal hexagonal honeycomb auxetic structures are derived from the Gibson model [12], where the

material characteristics of the auxetic core are significantly influenced by cell geometry, and can be described as

$$E_{11} = \frac{E_c \beta_3^3 \cos \theta}{(\beta_1 + \sin \theta) \sin^2 \theta} [1 - \beta_3^2 \cot^2 \theta] \quad (1a)$$

$$E_{22} = \frac{E_c \beta_3^3 (\beta_1 + \sin \theta)}{\cos^3 \theta} [1 - \beta_3^2 (\beta_1 \sec^2 \theta + \tan^2 \theta)] \quad (1b)$$

$$v_{12} = \frac{\cos^2 \theta}{(\beta_1 + \sin \theta) \sin \theta} [1 - \beta_3^2 \csc^2 \theta] \quad (1c)$$

$$\beta_1 = \frac{b_c}{a_c}, \quad (1d)$$

$$\beta_3 = \frac{t_c}{a_c}, \quad (1e)$$

Here, $E_{ii,jj}, v_{ij} (i = 1, j = 2, k = 3)$, are Young's moduli and Poisson's ratio, respectively. Parameters β_1 : length ratio, β_3 : thickness ratio. Also, E_c and v_c are the Young's modulus and Poisson's ratio of the honeycomb material. The geometric parameters of the honeycomb cell are defined as follows: a_c and b_c correspond to the inclined rib length and vertical rib length, respectively; t_c is the rib thickness; and τ represents the rib inclination angle (see Figure 1).

2.1. FGM Face layers

In the literature, many distribution functions have been suggested for simulating functionally graded material structures [13]. This study specifically examines the applied Voigt model, which has been thoroughly examined in prior studies [14].

Top layer:

$$P(z) = [P_m - P_c]V_c + P_m, \quad V_c = \left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2}\right)^p, \quad V_c + V_m = 1, \quad (2a)$$

$$h_2 < z < h_3$$

Bottom layer:

$$P(z) = [P_c - P_m]V_m + P_c, \quad V_m = \left(\frac{z}{h} + \frac{1}{2}\right)^p, \quad V_c + V_m = 1, \quad (2b)$$

$$h_0 < z < h_1$$

Here, P_m and P_c correspond to the properties of the material at the metal-rich and ceramic-rich surfaces, respectively, while $P(z)$ represents the effective material property across the entire thickness. The parameter V_c denotes the volume fraction of the material at a given surface, and the power-law distribution, p , varies from zero to infinity. Due to the symmetry between the top and bottom layers, the top layer is composed entirely of ceramic at $p = 0$ and entirely of metal at $p = \infty$ (Eq. 2a). Conversely, for the bottom layer, the material is fully metallic at $p = 0$ and fully ceramic at $p = \infty$ (Eq. 2b).

To achieve accurate predictions of the structure's behaviors, it is imperative to consider the impact of temperature. It is imperative to consider the effect of temperature to obtain accurate predictions of the structure's behavior. Material properties (Table 1) can be calculated using a nonlinear temperature function [14].

$$P_i = P_0 (P_{-1}T^{-1} + 1 + P_1T + P_2T^2 + P_3T^3) \quad (3)$$

The attributes of each material are defined by its P_0 , P_{-1} , P_1 , P_2 , and P_3 values, which represent different temperature T orders (-1, 0, 1, 2, and 3) of the material. In addition, mass density, $\rho(z)$, is mostly influenced by z and shows little sensitivity to changes in temperature. The material properties of the FGM and the honeycomb core layer are summarized in Table 1.

Table 1. Material properties of the FGM and honeycomb core layer [15,16]

Material	$P(z)$	P_{-1}	P_0	P_1	P_2	P_3	P_{300}
Ti-6Al-4V	ρ (kg/m ³)	0	4512	0	0	0	4512
	E (Pa)	0	122.56x 10 ⁹	0	0	0	1.057x10 ¹¹
	ν	0	0.2884	1.121 x10 ⁻⁴	0	0	0.2981
Nickel	ρ (kg/m ³)	0	8900	0	0	0	0
	E (Pa)	0	223.95x 10 ⁹	-2.794x10 ⁻⁴	0	0	0
	ν	0	0.31	0	0	0	0.31

3. Effect of the honeycomb cell parameters on the mechanical properties of the core layer

Figure 2 presents the elastic moduli E_{11} and E_{22} of the sandwich plate for four different length parameters as a function of the inclination angle (θ). As shown in Figure 2a, increasing the inclination angle results in a gradual decrease in the elastic modulus for all length parameters, approaching zero, with the maximum modulus observed at $\theta = 16^\circ$. In particular, when β_1 increases from 1 to 8, the elastic modulus E_{11} decreases by approximately eight times. Figure 2b illustrates that, as the inclination angle increases, the elastic modulus remains nearly constant for all length parameters up to $\theta = 75^\circ$, after which a sharp increase is observed. These findings indicate that the elastic moduli are highly sensitive to variations in inclination angle, with significant reductions at lower angles and a critical rise beyond $\theta = 75^\circ$, highlighting the strong influence of geometrical effects on the mechanical behavior of the structure.

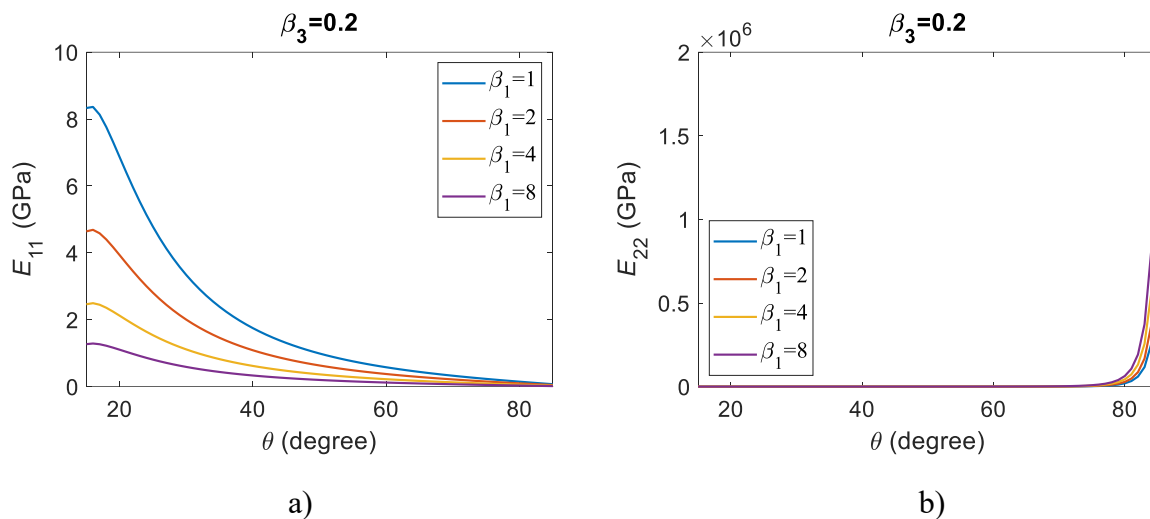


Figure2. Variation of the Young Moduli of honeycomb layer depending on the inclination angle θ (degree) for length ratio $\beta_1 = 1, 2, 4$, and 8 ; and for thickness ratio $\beta_3 = 0.2$; a) E_{11} ; b) E_{22} ;

Figure 3 illustrates the variation of Poisson's ratio ν_{21} for four different length parameters as a function of the inclination angle (θ). It is observed that Poisson's ratio remains nearly constant up to $\theta = 75^\circ$, after which it exhibits a sharp decrease for all parameters with further increases in the angle. This behavior suggests that Poisson's ratio is relatively insensitive to inclination angle variations within the lower range, while higher angles introduce a critical threshold where the structural response changes significantly. Such a sudden drop highlights the strong dependence of auxetic behavior on geometric configuration, which could play a decisive role in optimizing mechanical performance for practical applications.

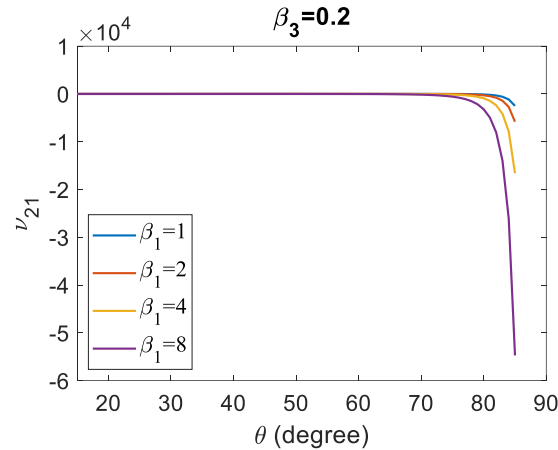


Figure 3. Variation of the Poisson ratios of honeycomb layer depending on the inclination angle θ (degree) for length ratio $\beta_1 = 1, 2, 4$, and 8 ; and for thickness ratio $\beta_3 = 0.2$; a) ν_{21} .

4. Conclusion

In this study, a theoretical model was developed to investigate the mechanical response of honeycomb-core sandwich nanosheets by employing an advanced higher-order shear deformation theory integrated with nonlocal strain gradient elasticity, while also accounting for thickness strain effects. The results demonstrated that the elastic moduli (E_{11} and E_{22}) and Poisson's ratio (ν_{21}) are highly dependent on the inclination angle (θ), with notable decreases observed at lower angles and a critical transition beyond $\theta = 75^\circ$, where the elastic moduli sharply increase and the Poisson's ratio drops significantly. These findings reveal the crucial role of geometric configuration in governing auxetic behavior and overall structural performance, offering valuable insights for the design of lightweight, high-strength nanoscale structures. The proposed model and outcomes provide a useful framework for applications in aerospace, biomedical implants, and advanced composite technologies. Future studies may extend this work by incorporating experimental validation, thermal and dynamic loading conditions, and multi-scale modeling to further enhance the practical applicability of honeycomb-based auxetic nano systems.

References

- [1] M. Iftimiciuc, A. Derluyn, J. Pflug, D. Vandepitte, Out-of-plane compression mechanism of a novel hierarchical sandwich honeycomb core, *Journal of Sandwich Structures & Materials* 25 (2023) 518–536. <https://doi.org/10.1177/10996362231159664>.
- [2] M. Patel, S. Patel, S.K. Kamarapu, S. Chauhan, N.K. Bhoi, Enhancement in air blast mitigation performance of steel sandwich structure with efficient thin-walled honeycomb cell packing, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* (2025) 1–20. <https://doi.org/10.1080/15376494.2025.2484798>.
- [3] A. Solak, Bioinspired honeycomb sandwich structures for enhanced hail impact resistance, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 32 (2025) 194–202. <https://doi.org/10.1080/15376494.2024.2341303>.
- [4] W. Yuan, Y. Kou, Z. Meng, S. Zhu, Out-of-plane energy absorption and crashing behavior of arc-curved hexagonal honeycomb structure, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 31 (2024) 3855–3860. <https://doi.org/10.1080/15376494.2023.2185710>.
- [5] P.A. Shirbhate, M.D. Goel, Investigation of effect of perforations in honeycomb sandwich structure for enhanced blast load mitigation, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 30 (2023) 3463–3478. <https://doi.org/10.1080/15376494.2022.2076958>.
- [6] T. Subhani, Mechanical Performance of Honeycomb Sandwich Structures Using Three-Point Bend Test, *Engineering, Technology & Applied Science Research* 9 (2019) 3955–3958. <https://doi.org/10.48084/etasr.2597>.
- [7] L. Tripathi, B.K. Behera, Flatwise compression behavior of 3D woven honeycomb composites, *Journal of Industrial Textiles* 52 (2022) 15280837221125483. <https://doi.org/10.1177/15280837221125483>.
- [8] D. Ruan, G. Lu, In-plane static and dynamic properties of aluminium honeycombs, *Australian Journal of Mechanical Engineering* 3 (2006) 45–60. <https://doi.org/10.1080/14484846.2006.11464494>.
- [9] A. K, B. G, B. Nath, N. Jose, Free vibration analysis of an aluminium honeycomb sandwich panel filled with CFRP tubes – numerical study, *Australian Journal of Mechanical Engineering* 20 (2022) 567–581. <https://doi.org/10.1080/14484846.2020.1724413>.
- [10] H. Mozafari, S. Najafian, Vibration analysis of foam filled honeycomb sandwich panel – numerical study, *Australian Journal of Mechanical Engineering* 17 (2019) 191–198. <https://doi.org/10.1080/14484846.2017.1338325>.
- [11] J. de D. Rodríguez-Ramírez, B. Castanié, C. Bouvet, Damage Mechanics Modelling of the shear nonlinear behavior of Nomex honeycomb core. Application to sandwich beams, *Mechanics of Advanced Materials and Structures* 27 (2020) 80–89. <https://doi.org/10.1080/15376494.2018.1472351>.



- [12] L.J. Gibson, Cellular Solids, MRS Bull 28 (2003) 270–274.
<https://doi.org/10.1557/mrs2003.79>.
- [13] Y.S. Touloukian, Thermophysical properties of high temperature solid materials., Macmillan, New York, 1967.
- [14] P.J.W. Markworth AJ, Ramesh KS, Modelling studies applied to functionally graded materials, Journal of Material Science 30 (1995) 2183–2193.
- [15] I. Esen, A.A. Abdelrhmaan, M.A. Eltaher, Free vibration and buckling stability of FG nanobeams exposed to magnetic and thermal fields, Eng Comput 38 (2022) 3463–3482.
<https://doi.org/10.1007/s00366-021-01389-5>.
- [16] M. Sobhy, An accurate shear deformation theory for vibration and buckling of FGM sandwich plates in hygrothermal environment, Int J Mech Sci 110 (2016) 62–77.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2016.03.003>.

MODELING AND MECHANICAL EVALUATION OF AUXETIC-CORE SMART SANDWICH PLATES VIA HIGH-ORDER SHEAR DEFORMATION THEORY

Dr. Öğrt. Üyesi Mustafa Buğday^{1, 2, *}

¹ *Department of Mechanical Engineering, Karabuk University, Karabuk, Turkey*

² *Eskipazar Vocational School Rail Systems Machining Program, Karabuk University, Karabuk, Turkey*

*Corresponding author: mustafabugday@karabuk.edu.tr

Abstract

This research presents an analytical investigation into the mechanical behavior of smart sandwich plates featuring an auxetic core layer using a high-order shear deformation theory (HSDT). The outer layers of the sandwich structure are composed of electro elastic barium titanate (BaTiO_3) and magnetostrictive cobalt ferrite (CoFe_2O_4), which together enable coupled electromechanical responses under combined electrical, magnetic, and mechanical loading conditions. The core layer consists of metallic SUS304 with re-entrant auxetic geometries, providing negative Poisson's ratio characteristics that enhance structural stiffness and energy absorption. The study systematically explores the influence of three primary geometrical parameters of the auxetic unit cells—wall thickness, cell length, and inclination angle—on the global mechanical performance of the sandwich plate. The governing equations are derived using Hamilton's principle, ensuring consistency with the principles of continuum mechanics, and are solved analytically via the Navier method for simply supported boundary conditions. The results reveal the strong coupling effects between mechanical and electromagnetic fields and demonstrate how geometric tuning of the auxetic core can significantly modify deflection, stress distribution, and vibration response. These findings offer valuable guidelines for the design and optimization of multifunctional smart structures, particularly in high-temperature or harsh operational environments such as aerospace, energy harvesting, and advanced sensing systems.

Key words: Smart sandwich nanoplate; Auxetic structures; Elastic modulus; Poisson's ratio

1. Introduction

Auxetic materials represent a distinctive class of materials characterized by a negative Poisson's ratio, which causes them to expand laterally when stretched and to contract laterally under longitudinal compression [1, 2]. Their unusual mechanical behavior has attracted considerable attention, particularly due to enhanced properties such as toughness, resilience, shear resistance, impact resistance, and the ability to conform to complex shapes [3]. Auxetic materials are available in multiple forms, including polymers, fibers, yarns, fabrics, and composites [4, 5]. Furthermore, the mechanical performance of auxetic structures has been explored, revealing

improvements in shear, impact, and bending resistance [6]. The development of ultra-lightweight auxetic meta-materials with superior stiffness and strength represents a notable practical advancement in this area [7].

This research examines smart sandwich plates incorporating auxetic cores and electro elastic–magneto strictive surface layers through a higher-order plate theory framework. The mechanical behavior of the piezomagnetic surface materials is systematically analyzed to establish a precise and robust model. The results provide valuable guidance for the design of advanced aerospace and electromechanical systems, as well as for applications involving vibration and impact mitigation under high-temperature conditions.

2. Mathematical formulation

The sandwich structure shown in Figure 1 consists of a thick rectangular plate consisting of a metallic auxetic core integrated with piezomagnetic layers. The plate has the dimensions a , b , and h . It is sandwiched between two piezo electromagnetic patches, each with a thickness of h_p .

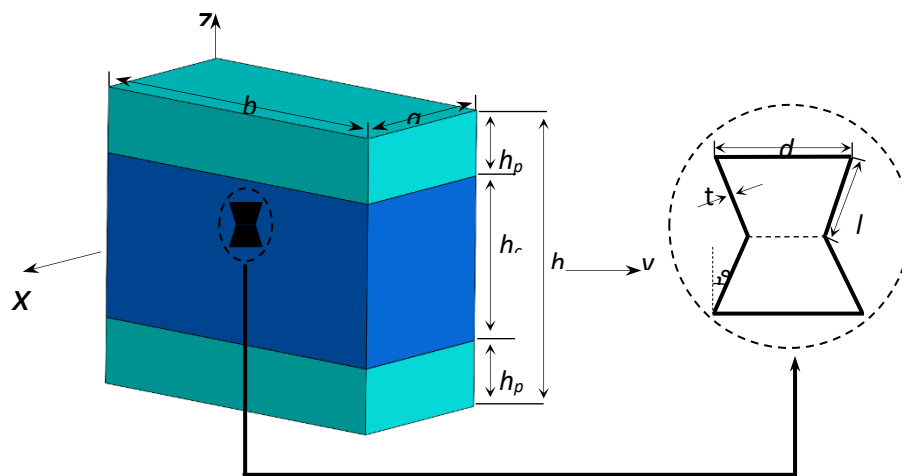


Figure 1. The schematic view of the smart sandwich plate and auxetic cell.

2.1. Auxetic Core Properties,

The sandwich plate under consideration incorporates an auxetic material with a negative Poisson's ratio in its core layer, which provides enhanced mechanical performance when subjected to external loads and deformations. Under compressive forces, the auxetic core tends to expand laterally, while it contracts in response to tensile forces. The geometrical parameters of the auxetic unit cell employed in the core are illustrated in Figure 1, including the inclined angle (θ), rib thickness (t), vertical wall length (d), and inclined wall length (l). In this study, nickel is chosen as the material for the auxetic core. Accordingly, the following relations [8]

establish the link between the mass density and effective elastic properties of the auxetic core and those of nickel [9, 10].

$$E_{11}^c = E_{Al} \left[\frac{(\beta_1 - \sin(\theta))\beta_3^3}{[(\beta_1 \sec^2(\theta) + \tan^2(\theta))\beta_3^2 + 1]\cos^3(\theta)} \right] \quad (1)$$

$$E_{22}^c = E_{Al} \left[\frac{\beta_3^3}{(\beta_3^2 + \tan^2(\theta))(\cos(\theta)\beta_1 - \cos(\theta)\sin(\theta))} \right] \quad (2)$$

Here, $\beta_1 = d/l$ and $\beta_3 = t/l$. Moreover, Poisson's ratio can be directly determined from the geometric features of the auxetic unit cell [9, 10].

$$\nu_{12}^c = \frac{(\sin(\theta) - \beta_1)(\sin(\theta))(1 - \beta_3^2)}{\cos^2(\theta)[\beta_3^2(\beta_1 \sec^2(\theta) + \tan^2(\theta)) + 1]} \quad (3)$$

$$\nu_{21}^c = \frac{(\beta_3^2 - 1)\sin(\theta)}{(\beta_1 - \sin(\theta))(\beta_3^2 + \tan^2(\theta))} \quad (4)$$

Table1. Material properties magneto-electro-elastic coefficients [11]

Properties		BaTiO ₃	CoFe ₂ O ₄
$c_{11} = c_{22}$	(GPa)	166	286
c_{33}		162	269.5
$c_{13} = c_{23}$		78	170.5
c_{12}		77	173
c_{55}		43	45.3
c_{66}		44.5	56.5
e_{31}	(C/m ²)	-4.4	0
e_{33}		18.6	0
e_{15}	(N/Am)	11.6	0
q_{31}		0	580.3
q_{33}		0	699.7
q_{15}		0	550
s_{11}	(10 ⁻⁹ C ² /Nm ²)	11.2	0.08
s_{33}		12.6	0.093

χ_{11}	$(Ns^2/2C^2)$	5	-590
χ_{33}		10	157
$d_{11} = d_{22} = d_{33}$		0	0
ρ	(kg/m^3)	5800	5300

The auxetic core layer used in this study is made of SUS304 stainless steel, and its material properties are listed in Table 2.

Table 2. Material properties of the Auxetic core layer [12]

Material	Property	P_{-1}	P_0	P_1	P_2	P_3
SUS304	ρ (kg/m ³)	0	8166	0	0	0
	E (Pa)	0	201.04x 10 ⁹	3.079x10 ⁻⁴	-6.534x10 ⁻⁷	0
	ν	0	0.3262	-2.002x10 ⁻⁴	3.797x10 ⁻⁷	0
	α (K ⁻¹)	0	12.33x10 ⁻⁶	8.086x10 ⁻⁴	0	0
	ψ (W/mK)	0	15.397	-1.264x10 ⁻³	2.092x10 ⁻⁶	7.223x10 ⁻¹⁰

3. Results and discussion

3.1. Impact of Geometrical Parameters of Auxetic Cells on the Structural Performance of the Core Layer

As seen in Figure 2, a significant increase in the modulus of elasticity occurred as the thickness ratio increased. For values of $\beta_3 = 0.05, 0.1$, and 0.2 , the increasing trend generally appears logarithmically after $\theta = 75^\circ$, while for $\beta_3 = 0.4$, this increase begins earlier, around $\theta = 70^\circ$. In both Figure 2a and Figure 2b, it is determined that the modulus of elasticity increases approximately 15-fold at $\theta = 85^\circ$.

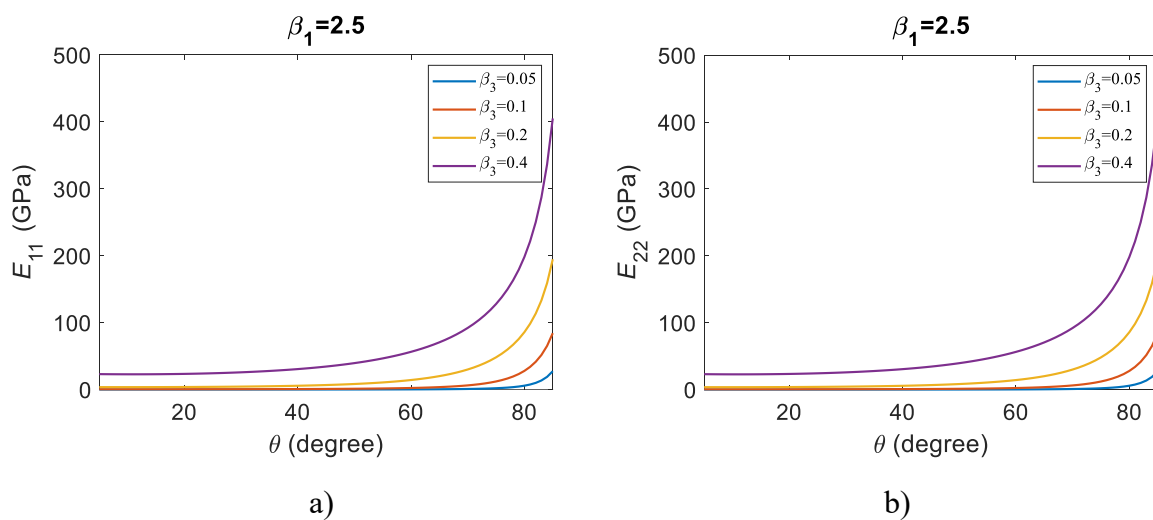


Figure 2. Variation in the Elastic Moduli of the Auxetic Layer as a Function of Inclination Angle θ for Given Thickness Ratios $\beta_3 = 0.05, 0.1, 0.2$ and, 0.4 ; and for length ratio $\beta_1 = 2.5$; a) E_{11} ; b) E_{22}

These results demonstrate that the thickness ratio directly affects the stiffness of the auxetic layer and significantly increases the material's load-carrying capacity at critical angles. Furthermore, the increase in elastic modulus occurs later at low thickness ratios, while at higher thickness ratios, this increase begins at lower angles, demonstrating the strong influence of geometric parameters on mechanical behavior.

As seen in Figure 3, abrupt Poisson's ratio changes occurred at low thickness ratios. As the thickness ratio of the auxetic structure increased, the changes in Poisson's ratio exhibited a more stable trend depending on the angle. Furthermore, the change in Poisson's ratios as the angle increased in Figure 3a is more pronounced compared to Figure 3b. Moreover, Figure 3a shows a logarithmic negative increase in the Poisson ratios after $\theta = 40^\circ$. Conversely, in Figure 3b, the Poisson ratios show a positive decreasing trend, approaching zero, starting from the same angle value.

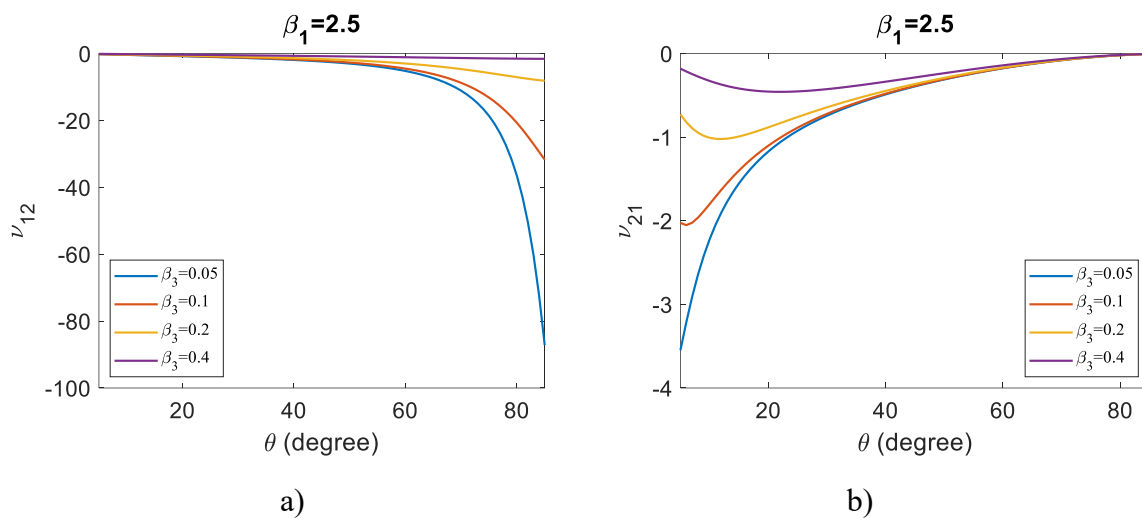


Figure 3. Variation in the Poisson's Ratio of the Auxetic Layer as a Function of Inclination Angle θ for Given Thickness Ratios $\beta_3 = 0.05, 0.1, 0.2$ and, 0.4 ; and for length ratio $\beta_1 = 2.5$; a) ν_{12} ; b) ν_{21}

These results demonstrate that the thickness ratio directly affects the anisotropic behavior of auxetic structures. It can be argued that the structure responds more sensitively at low thickness ratios, whereas the mechanical behavior becomes more stable at high thickness ratios. Furthermore, the variation in Poisson's ratio across different directions highlights the importance of the directionally dependent mechanical properties of auxetic structures.

4. Conclusion

In this study, the influence of thickness ratio and inclination angle on the elastic modulus and Poisson's ratio of auxetic core structures was comprehensively investigated. The results indicate that increasing the thickness ratio significantly enhances the stiffness of the auxetic layer and improves its load-carrying capacity, particularly at critical inclination angles. While the elastic modulus exhibits delayed growth at lower thickness ratios, a more rapid increase is observed at higher ratios, demonstrating the strong role of geometric parameters in governing the mechanical response.

Additionally, the analysis of Poisson's ratio reveals abrupt variations at low thickness ratios, whereas a more stable behavior emerges as the thickness ratio increases. Distinct directional dependencies were also identified: in one direction, Poisson's ratio increased negatively in a logarithmic manner, while in the other, it showed a positive decreasing trend toward zero. These findings highlight the pronounced anisotropic nature of auxetic structures and emphasize the importance of geometrical design in tailoring their mechanical characteristics.

Overall, the results suggest that auxetic structures hold significant potential for engineering applications requiring high energy absorption, enhanced stiffness, and tailored anisotropic properties. Such structures can be effectively utilized in protective equipment, aerospace and automotive components, biomedical implants, vibration damping systems, and sandwich panels where improved mechanical performance under critical loading conditions is essential.

References

1. Wright, J.R., Burns, M.K., James, E., Sloan, M.R., Evans, K.E.: On the design and characterisation of low-stiffness auxetic yarns and fabrics. *Textile Research Journal*. 82, 645–654 (2012). <https://doi.org/10.1177/0040517512436824>
2. Aktaş, K.G., Güvenç, M.A.: Numerical and Analytical Free Vibration Analysis of Composite Plate with Auxetic Core Layer and Functionally Graded Surface Layers. *ASREL*. (2024). <https://doi.org/10.56753/ASREL.2024.2.6>
3. Shukla, S., Behera, B.K.: Comparative analysis of Poisson's ratio of 2D woven constructions and their composites produced from different auxetic geometries. *Polym Compos*. 44, 1636–1647 (2023). <https://doi.org/10.1002/pc.27193>
4. Kamrul, H., Zulifqar, A., Yang, Y., Zhao, S., Zhang, M., Hu, H.: Geometrical analysis of auxetic woven fabrics based on foldable geometry. *Textile Research Journal*. 92, 317–329 (2022). <https://doi.org/10.1177/00405175211008663>
5. Zulifqar, A., Hu, H.: Geometrical analysis of bi-stretch auxetic woven fabric based on re-entrant hexagonal geometry. *Textile Research Journal*. 89, 4476–4490 (2019). <https://doi.org/10.1177/0040517519836936>
6. Peliński, K., Smardzewski, J., Narojczyk, J.: Stiffness of Synclastic Wood-Based Auxetic Sandwich Panels. *physica status solidi (b)*. 257, (2020). <https://doi.org/10.1002/pssb.201900749>
7. Rayneau-Kirkhope, D.: Stiff auxetics: Hierarchy as a route to stiff, strong lattice based auxetic meta-materials. *Sci Rep*. 8, 12437 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30822-x>
8. Li, F., Yuan, W., Zhang, C.: Free vibration and sound insulation of functionally graded honeycomb sandwich plates. *Journal of Sandwich Structures & Materials*. 24, 565–600 (2022). <https://doi.org/10.1177/10996362211020440>
9. Li, F., Yuan, W., Zhang, C.: Free vibration and sound insulation of functionally graded honeycomb sandwich plates. *Journal of Sandwich Structures & Materials*. 24, 565–600 (2022). <https://doi.org/10.1177/10996362211020440>



10. Nouraei, M., Zamani, V., Civatek, Ö.: Vibration of smart sandwich plate with an auxetic core and dual-FG nanocomposite layers integrated with piezoceramic actuators. *Compos Struct.* 315, 117014 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117014>
11. Ebrahimi, F., Dabbagh, A.: On flexural wave propagation responses of smart FG magneto-electro-elastic nanoplates via nonlocal strain gradient theory. *Compos Struct.* 162, 281–293 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.058>
12. Esen, I., Abdelrhmaan, A.A., Eltaher, M.A.: Free vibration and buckling stability of FG nanobeams exposed to magnetic and thermal fields. *Eng Comput.* 38, 3463–3482 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00366-021-01389-5>

ANALYSIS OF CLEAN ENERGY SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE TRANSPORTATION

Öğr. Gör., METİN KAYNAKLI¹, Öğr. Gör., OLCAY PALTA²

¹ BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ, Teknik Bilimler MYO, mkaynakli@beu.edu.tr - 0000-0001-8372-1345

² BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ, Teknik Bilimler MYO, paltalolcay@gmail.com- 0000-0002-7496-2101

ABSTRACT

Hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) represent one of the most innovative solutions for achieving sustainability goals in today's transportation sector. Compared to conventional internal combustion engine vehicles, FCEVs offer two to three times higher energy efficiency and emit only water vapor and heat as exhaust. In this regard, they hold strategic potential for realizing carbon-neutral transportation. This study first examines the definition of hydrogen, its physical and chemical properties, and its advantages as a fuel. Subsequently, hydrogen production methods—including steam methane reforming, electrolysis, biomass gasification, coal gasification, and next-generation processes—and its distribution pathways (pipelines, high-pressure cylinders, liquefaction, and alternative solutions) are discussed in detail. The working principle of hydrogen fuel cell electric vehicle technology is explained through the mechanisms of the fuel cell, battery integration, energy management system, and efficiency comparisons. Furthermore, safety standards for hydrogen tanks, leak detection systems, and international regulations are evaluated. The market analysis covers existing passenger vehicle models such as the Toyota Mirai, Hyundai Nexo, and Honda Clarity, as well as developments in buses, trucks, trains, and maritime applications. In the section on emissions and environmental impact, a life-cycle assessment of hydrogen is presented, highlighting the differences between gray, blue, and green hydrogen. Finally, the topic of hydrogen fueling stations and costs is addressed, evaluating current cost levels, infrastructure status, and government incentives.

Keywords: Hydrogen Fuel Cell Vehicles, Hydrogen Energy, Fuel Cell Technology, Sustainable Transportation, Energy Efficiency

1. Introduction

The rapidly increasing global energy demand, the depletion of fossil fuel reserves, and the environmental problems caused by these fuels have made alternative energy sources increasingly important. In particular, the transportation sector stands out as one of the largest contributors to greenhouse gas emissions and air pollution. For countries aiming for a carbon-neutral future, the development of clean and sustainable transportation technologies has become an absolute necessity.

Electric vehicles have played a key role in this transformation process. However, battery electric vehicles (BEVs) still face certain limitations that need to be addressed:

- Long charging times,
- Limited driving range,
- Insufficient charging infrastructure,
- Scarcity and environmental impact of raw materials used in battery production.

In this context, hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) represent an innovative solution that complements the limitations of battery technology and introduces a new paradigm in transportation. Thanks to the high energy density of hydrogen, FCEVs offer advantages such as long driving range, short refueling time of 3–5 minutes, and zero tailpipe emissions. Moreover, they present a more suitable alternative to battery electric vehicles in heavy-duty transportation, public transit, and long-distance travel applications. Countries such as Japan, South Korea, Germany, China, and the United States have developed strategic plans to support the hydrogen economy. In these nations, both vehicle manufacturers and public institutions are investing in the expansion of hydrogen infrastructure. Reports from international energy agencies indicate that hydrogen will become a strategic energy carrier of the future—not only in transportation but also in energy storage, industry, and heating sectors. Therefore, this study aims to reveal the potential of hydrogen in sustainable transportation systems by examining the technological foundations of hydrogen fuel cell vehicles, their production and distribution infrastructure, safety standards, current market conditions, and environmental impacts.

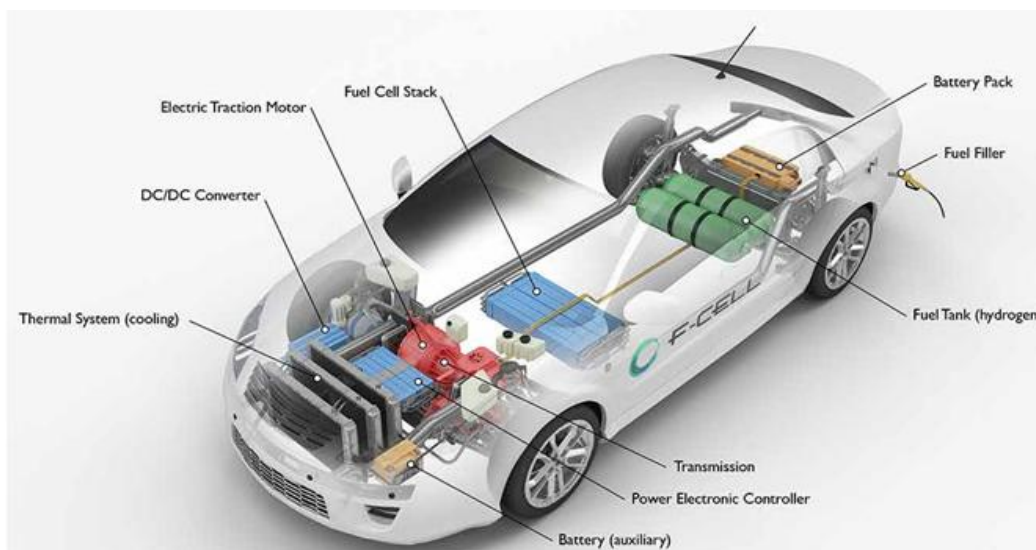


Figure 1. Components of a Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle (FCEV).

2. DEFINITION AND CHARACTERISTICS OF HYDROGEN FUEL

2.1 General Definition of Hydrogen

Hydrogen (H_2) is the element with atomic number 1 and is the most abundant element in the universe. It is colorless, odorless, and tasteless, existing as a gas under normal conditions. Due to its lightness, high energy density, and environmentally clean characteristics, hydrogen is regarded as a strategic fuel in energy conversion systems. In recent years, within the scope of global energy transition and efforts to combat climate change, hydrogen has emerged as an alternative fuel option, particularly in the transportation sector.

2.2 Energy Density and Thermodynamic Properties

The most remarkable characteristic of hydrogen is its high energy content per unit mass (120 MJ/kg), which is approximately three times greater than that of conventional fossil fuels such as gasoline (44 MJ/kg) and diesel (42 MJ/kg). However, its volumetric energy density is relatively low; therefore, high-pressure tanks or cryogenic methods are employed for storage and transportation. From a thermodynamic perspective, the only combustion product of hydrogen is water vapor, and since it contains no carbon, it does not produce any greenhouse gas emissions.

2.3 Hydrogen Storage Methods

For hydrogen to be used effectively in vehicles, it must be stored safely and efficiently. In this context, three main storage methods are prominent:

- **Compressed Gas (Compressed Hydrogen):** The most commonly used method. Hydrogen is stored in tanks under pressures of 35 MPa (5,000 psi) or 70 MPa (10,000 psi).

- **Liquid Hydrogen (LH₂):** Hydrogen is cooled down to -253°C to be liquefied. Although this method increases volumetric energy density, it requires energy-intensive cryogenic processes.
- **Solid-State Storage (Metal Hydrides):** Hydrogen is chemically stored within certain alloys or porous materials. It offers advantages in terms of safety; however, the technology is still in the commercialization stage.

2.4 Environmental Characteristics

The main environmental advantage of hydrogen lies in the fact that its combustion or reaction within a fuel cell produces only water (H₂O) and heat. Therefore, its direct use results in zero emissions. However, the overall environmental impact of hydrogen depends on its production method. “Gray hydrogen,” produced from fossil fuels, generates carbon emissions; “blue hydrogen,” produced with carbon capture and storage (CCS) technologies, has significantly lower emissions; and “green hydrogen,” derived from renewable energy sources, is an almost completely carbon-neutral fuel type.

3. OPERATING PRINCIPLE OF FCEV TECHNOLOGY

Hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) are an innovative transportation technology that operates by converting hydrogen gas into electricity through a chemical reaction. In these vehicles, the primary energy source is the fuel cell, which supplies electricity to the electric motor to propel the vehicle. Although the operation of FCEVs is similar to that of battery electric vehicles (BEVs), there are significant differences in their energy storage methods.

3.1 Fundamental Mechanism of Fuel Cells

At the core of a hydrogen fuel cell electric vehicle lies the proton exchange membrane (PEM) fuel cell. Hydrogen gas enters the anode side of the fuel cell, while oxygen (from air) is supplied to the cathode side. At the anode, hydrogen molecules are split into protons (H⁺) and electrons (e⁻).

- The protons pass through a special membrane to reach the cathode,
- The electrons flow through an external circuit, generating electricity.

At the cathode, protons, electrons, and oxygen combine to form water (H₂O). During this process, heat and electrical energy are produced, which are then used to power the electric motor of the vehicle.

Reactions:

- Anode: $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
- Cathode: $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

- Overall: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{Energy}$

3.2 Battery and Energy Management

In FCEVs, the fuel cell does not operate alone; the vehicle is also equipped with a lithium-ion battery. This battery performs several key functions:

- Stores the electrical energy generated by the fuel cell,
- Recovers kinetic energy released during braking through regenerative braking,
- Supports the electric motor during sudden acceleration or periods of high power demand.

Thanks to this energy management system, both fuel efficiency and driving comfort are enhanced. In terms of energy conversion efficiency, hydrogen fuel cell electric vehicles offer significant advantages over conventional internal combustion engines:

- Fuel cells can achieve electrical efficiencies exceeding 60%,
- Internal combustion engines typically operate at 25–30% efficiency,
- Therefore, with the same amount of energy, hydrogen fuel cell vehicles can travel much longer distances.

In addition, FCEVs provide several other benefits such as quiet operation, low vibration, and reduced maintenance requirements.

3.3 Components of FCEV Technology

The main components of a hydrogen fuel cell electric vehicle (FCEV) are as follows:

- Fuel Cell Stack: The system where hydrogen is converted into electricity.
- High-Pressure Hydrogen Tank: Stores hydrogen at pressures of 35 MPa or 70 MPa.
- Electric Motor: Converts the generated electrical energy into mechanical power.
- Battery Pack: Provides energy storage and instantaneous power support when needed.
- Power Electronics Unit: Regulates energy flow and controls motor operation.

4. PASSENGER VEHICLES

In the passenger car segment, hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) stand out particularly due to their long driving range and fast refueling capability. The main models currently available on the market include:

- **Toyota Mirai:** First introduced in 2014, it is considered a pioneer of FCEV technology.
- **Hyundai Nexo:** Known for its spacious interior, range of nearly 600 km, and environmentally friendly performance.
- **Honda Clarity Fuel Cell:** Offered to consumers in select markets through a leasing model.

These models are primarily available in regions such as California, Japan, and parts of Europe, mainly because the number of hydrogen refueling stations is still limited.

4.1. Heavy-Duty and Commercial Applications

The high energy density of hydrogen provides a strategic advantage for heavy-duty applications such as buses, trucks, trains, and marine transportation. In particular, for long-haul operations, hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) are regarded as a critical solution to overcome the charging time and range limitations faced by battery electric vehicles.



Figure 2. Hydrogen fuel cell electric bus at the National Renewable Energy Laboratory (NREL), California.

- **Buses:** Hydrogen fuel cell public transportation buses are actively operated in California and several European cities.
- **Trucks:** Manufacturers such as Nikola, Daimler, Hyundai, and Toyota have developed hydrogen fuel cell truck prototypes.
- **Rail Systems:** In Germany, hydrogen-powered trains (Alstom Coradia iLint) have been in commercial service since 2018.
- **Maritime Transport:** Countries such as Japan and Norway are developing hydrogen-powered ferry projects.

5. EMISSIONS AND ENVIRONMENTAL IMPACT

Hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) are among the cleanest transportation technologies from an environmental perspective. During operation, they emit only water vapor and heat, providing a truly zero-emission driving experience. However, the life-cycle emissions of hydrogen vary depending on its production method. Therefore, when evaluating the environmental impact of hydrogen, both direct tailpipe emissions and greenhouse gas emissions during the production phase must be considered.

5.1 Direct Emissions

The greatest advantage of hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) is that they do not produce harmful gases such as carbon monoxide (CO), nitrogen oxides (NO_x), sulfur dioxide (SO₂), or particulate matter (PM) during operation. As a result:

- Urban air quality is preserved,
- Noise pollution is reduced (since the motor operates quietly),
- Public health is improved, with reductions in asthma, respiratory diseases, and smog-related problems.

5.2. Life-Cycle Analysis

The environmental performance of hydrogen is directly related to its production method:

- **Gray Hydrogen:** Produced from fossil fuels (e.g., natural gas via steam methane reforming—SMR). Although emission reductions are limited, it can still lower CO₂ emissions by 30–50% compared to gasoline-powered vehicles.
- **Blue Hydrogen:** Also derived from fossil fuels but supported by carbon capture and storage (CCS) technologies, which significantly reduce emissions.
- **Green Hydrogen:** Produced through electrolysis powered by renewable energy sources such as solar, wind, or hydroelectric power. This method can achieve up to 90% carbon emission reduction, enabling hydrogen to function as a carbon-neutral fuel.

5.3. Hydrogen Refueling Stations and Costs

One of the major barriers to the widespread adoption of hydrogen fuel cell vehicles (FCEVs) is the limited hydrogen refueling infrastructure. While gasoline and diesel fueling stations are widely available across the world, the number of hydrogen refueling stations remains relatively low. Therefore, the growth of the hydrogen economy largely depends on improvements in station infrastructure and fuel cost reduction.

6. CONCLUSION

Hydrogen fuel cell electric vehicles (FCEVs) hold a significant place in the sustainable transformation of the transportation sector. Compared to conventional internal combustion engines, they offer two to three times higher energy efficiency, zero direct emissions, and fast refueling times, positioning them as a strong alternative among the transportation solutions of the future. In particular, for long-distance transportation and heavy-duty applications, FCEVs provide a strategic solution that overcomes the limitations of battery electric vehicles.

However, the development of the hydrogen economy faces several challenges, including:

- High production costs,
- Insufficient refueling infrastructure,
- Technical difficulties in hydrogen storage and transportation,
- Public concerns regarding safety and cost perception.

Despite these challenges, government support, private sector investments, and international collaborations are accelerating the development of hydrogen technologies. Programs such as the U.S. Hydrogen Shot Initiative, the European Union's Green Deal objectives, and the hydrogen roadmaps of Japan and South Korea are driving the global expansion of this technology. In the short term, hydrogen FCEVs will remain a niche market, limited to specific regions. In the medium term, they are expected to gain wider adoption, particularly in logistics, public transportation, and heavy-duty sectors. In the long term, as the cost of green hydrogen production decreases and infrastructure develops, hydrogen fuel cell electric vehicles will become a core component of carbon-neutral transportation. Overall, hydrogen fuel cell electric vehicles offer tremendous opportunities not only in terms of environmental sustainability, but also for energy security, economic transformation, and technological innovation. Therefore, hydrogen stands as a strategic energy source poised to play a critical role in the low-carbon transportation systems of the future.

REFERENCES

- [1] International Energy Agency (IEA), Global Hydrogen Review, IEA Publications, Paris, October, 2024.
- [2] U.S. Department of Energy (DOE), Hydrogen Program Plan: An Integrated Strategy for Clean Hydrogen, DOE Reports, Washington D.C., July, 2023.
- [3] European Commission, Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe, EU Publications, Brussels, June, 2023.
- [4] Ursua, A., Gandía, L.M., Sanchis, P., Hydrogen Production from Water Electrolysis: Current Status and Future Trends, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 167, 113–132, February, 2024.
- [5] Ball, M., Weeda, M., The Hydrogen Economy—Vision or Reality?, International Journal of Hydrogen Energy, 49(5), 1842–1865, January, 2024.
- [6] Kim, Y., Park, J., Lee, H., Life-Cycle Assessment of Hydrogen Fuel Cell Vehicles and Comparison with Battery Electric Vehicles, Journal of Cleaner Production, 433, 139864, March, 2024.
- [7] Toyota Motor Corporation, Toyota Mirai Technical Overview, Toyota City, Japan, 2024.

- [8] National Renewable Energy Laboratory (NREL), Hydrogen Fuel Cell Bus Evaluation Annual Report, Golden, CO, August, 2024.
- [9] Kær, J.K., Fuel Cell Technology for Heavy-Duty Applications: Efficiency, Durability and Cost Challenges, *Energies*, 17(2), 950–968, January, 2025.
- [10] International Renewable Energy Agency (IRENA), Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal, IRENA Publications, Abu Dhabi, 2024.
- [11] Park, S.H., Kim, T.H., Choi, H.S., Techno-Economic Assessment of Green Hydrogen Production by Alkaline Water Electrolysis, *Applied Energy*, 358, 122374, March, 2025.
- [12] California Fuel Cell Partnership, Hydrogen Station Network Progress Report, Sacramento, April, 2024.
- [13] Lee, J.W., Jeon, C.D., Safety Assessment and Standards for Hydrogen Refueling Stations: A Global Perspective, *International Journal of Hydrogen Energy*, 50(8), 3601–3614, 2025.
- [14] International Transport Forum (ITF), Decarbonising Transport: Hydrogen in Road Freight, OECD/ITF Report, Paris, 2023.
- [15] Lien, H.P., Tho, P.V.W., Green Hydrogen Cost Reduction Potential and Its Impact on Future Mobility, *Energy Policy*, 184, 113637, February, 2025.
- [16] Greenblatt, J.B., et al., Global Scenarios for Fuel Cell Electric Vehicle Adoption under Net-Zero Pathways, *Nature Energy*, 10, 72–85, 2025.
- [17] Wang, Z., Zhang, C., Hydrogen Infrastructure Planning for Zero-Emission Mobility: Challenges and Policy Insights, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 132, 104233, December, 2024.
- [18] U.S. Department of Transportation, Hydrogen Fueling Infrastructure Safety and Codes Report, Washington D.C., 2024.
- [19] Olabi, A.G., Abdelkareem, M.A., Wilberforce, T., Hydrogen and Fuel Cells for Sustainable Transportation: Status, Challenges, and Perspectives, *Energy Conversion and Management*, 301, 118074, November, 2024.
- [20] Gielen, D., et al., Hydrogen in Transport and Industry: The Road to 2030, IRENA Technical Paper Series, 2025.

EXAMINATION OF THE CHARGING INFRASTRUCTURE OF ELECTRIC MEDIUM AND HEAVY DUTY VEHICLES

Öğr. Gör., METİN KAYNAKLI¹, Öğr. Gör., OLCAY PALTA²

¹ BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ, Teknik Bilimler MYO, mkaynakli@beu.edu.tr - 0000-0001-8372-1345

² BİTLİS EREN ÜNİVERSİTESİ, Teknik Bilimler MYO, paltaolcay@gmail.com- 0000-0002-7496-2101

ABSTRACT

This study examines the electrification of medium- and heavy-duty vehicles (MD/HDVs) from technical, economic, and policy perspectives. While early electrification efforts primarily focused on light-duty vehicles (LDVs), attention has increasingly shifted toward MD/HD vehicles due to their high fuel consumption and significant greenhouse gas emissions. The research provides a detailed analysis of vehicle classes and their charging requirements. Infrastructure and grid integration are identified as critical components of the electrification process. The high power demands of MD/HDV charging place substantial stress on the grid; therefore, smart charging strategies—such as demand management, renewable energy integration, and the use of distributed energy resources—as well as grid reinforcement investments, are emphasized. From an economic standpoint, the success of electrification depends on achieving total cost of ownership (TCO) parity. While short-range vehicles are approaching this parity, long-haul transport continues to face challenges due to the high costs of batteries and charging infrastructure. However, it is projected that TCO parity could be achieved by 2030–2035 as battery prices continue to decline. Policy and regulatory frameworks play a decisive role in accelerating the electrification transition. Regulatory measures in California, the European Union, and China support this process, while initiatives such as the U.S. NEVI program contribute to infrastructure investments. Moreover, the study highlights the need for subsidies, tax incentives, and financial mechanisms to enable small operators to participate effectively in the transition.

Keywords: Medium- and Heavy-Duty Vehicles, Electrification, Charging Infrastructure, Depot and Residential Charging, Smart Grid

1. INTRODUCTION

The electrification of the transportation sector has become one of the most critical strategies for achieving global decarbonization and sustainability goals. Although early efforts primarily focused on light-duty vehicles (LDVs), the attention of policymakers, researchers, and industry stakeholders has increasingly shifted toward medium- and heavy-duty vehicles (MD/HDVs). These vehicles—such as school buses, transit buses, delivery trucks, and long-haul tractors—represent a relatively small share of the overall vehicle fleet but contribute disproportionately to energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions. In developed economies, MD/HD vehicles are responsible for nearly one-quarter of transportation-related CO₂ emissions. Therefore, their electrification is regarded both as an urgent challenge and a significant opportunity.

Light-duty vehicles generally operate within predictable ranges and can rely on widespread charging infrastructure. However, medium- and heavy-duty vehicles exhibit much more diverse and complex operational requirements. For example, urban delivery trucks and transit buses operate on short, repetitive routes and can therefore be efficiently supported through depot-based charging. In contrast, long-haul freight vehicles travel hundreds of kilometers per day and require megawatt-scale charging solutions along highway corridors. This diversity necessitates multilayered infrastructure strategies that integrate depot, residential, and en-route charging solutions to address different operational needs effectively.



Figure 1. Electric school buses (left) and delivery trucks (right).

From an economic perspective, the success of medium- and heavy-duty fleet electrification depends on achieving total cost of ownership (TCO) parity with diesel vehicles. In short-haul transport, this parity has largely been approached due to savings in fuel and maintenance costs. However, for long-haul operations, costs remain high because of the larger battery sizes and extensive charging infrastructure required. Projections indicate that TCO parity could be achieved between 2030 and 2035, provided that battery costs continue to decline and supportive policies remain in place. Equally important are policy frameworks and regulatory incentives.

California's Advanced Clean Trucks (ACT) rule, the European Union's CO₂ emission standards, and China's urban bus electrification mandates have all accelerated adoption. Meanwhile, federal initiatives in the United States—such as the National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) program—support the transition by investing in corridor-based charging networks. These examples underscore the decisive role of policy in guiding markets and ensuring equity between small operators and large fleets.

This study contributes to the literature by comprehensively addressing the challenges and opportunities associated with MD/HD electrification in the context of vehicle classifications, charging strategies, grid integration, economic feasibility, and policy comparisons. By integrating technical, economic, and regulatory perspectives, it aims to provide a reference framework for researchers, fleet operators, and policymakers pursuing sustainable freight and passenger transportation.

2. VEHICLE CLASSES AND CHARGING REQUIREMENTS

Medium-Duty Vehicles: This category includes urban delivery trucks, shuttle buses, and commercial vans. Their operational characteristics typically involve predictable routes and daily ranges under 200 miles (approximately 320 km). Therefore, depot-based charging strategies are the most suitable solutions for these vehicles. The fact that they return to the depot at the end of each day allows them to be charged overnight using low-cost electricity tariffs. Moreover, since these vehicles have smaller battery capacities compared to long-haul trucks, the required charging infrastructure investments are significantly less expensive.

Heavy-Duty Vehicles: This class includes large freight trucks, long-haul tractors, and heavy transport vehicles. Their duty cycles typically exceed 250 miles (approximately 400 km) per day and sometimes involve thousands of kilometers over extended routes. This operational reality necessitates the development of high-power, en-route charging infrastructure. In particular, megawatt-scale charging systems (MCS) are of critical importance for the electrification of long-haul freight transport. While depot or residential charging can supplement these vehicles, such methods alone are insufficient due to their extensive range requirements.

Residential Charging: This is particularly important for small fleet operators or independent truck drivers. It is estimated that 10–20% of medium-duty vehicles are parked at residential locations. In rural and suburban areas where access to depot facilities is limited, home-based charging becomes critical. However, in urban areas, access to curbside high-power chargers is often restricted; therefore, neighborhood charging hubs or municipally supported shared infrastructure investments are recommended to ensure equitable and practical access to charging.

En-Route Charging: This charging model is indispensable for long-distance freight transport. It requires the establishment of high-power charging stations along major highway corridors. By 2035, it is projected that nearly all long-haul freight operations will depend on this type of

charging infrastructure. While current fast chargers used for light-duty vehicles typically operate in the 350–500 kW range, medium- and heavy-duty vehicles require charging power levels exceeding 1 MW to meet their operational demands efficiently.

Table 1. Vehicle Classes and Charging Requirements

Vehicle Class	Typical Applications	Daily Range	Primary Charging Strategy	Charging Power Requirement
Light-Duty Vehicles (LDV)	Passenger cars, small vans	< 150 miles (≈240 km)	Residential / Public Charging	7–50 kW
Medium-Duty Vehicles (MDV)	Urban delivery trucks, shuttle buses, commercial vans	< 200 miles (≈320 km)	Depot Charging	50–350 kW
Heavy-Duty Vehicles (HDV)	Long-haul trucks, freight tractors, heavy transport units	> 250 miles (≈400 km)	En-Route (Megawatt-Scale) Charging	≥ 1 MW

3. HOME-BASED CHARGING ANALYSIS

Depot-Based Charging: The vast majority of medium- and heavy-duty vehicles are parked at depots during off-duty hours. This enables the use of centralized charging infrastructure capable of serving multiple vehicles simultaneously. Additionally, by leveraging commercial and industrial electricity tariffs, depot charging can significantly reduce operating costs. Studies project that by 2035, 75–95% of the charging needs of medium- and heavy-duty vehicles will be met through depot-based charging solutions.

Residential-Based Charging: Although most vehicles are parked at depots, approximately 10–20% of medium-duty vehicles are parked at residential locations. This proportion is particularly significant for small fleet operators and independent drivers. In rural and suburban areas where depot access is limited, home charging becomes a key solution. However, in urban environments, access to curbside high-power chargers is restricted. Therefore, neighborhood charging hubs or municipally supported shared infrastructures emerge as practical solutions to enable effective residential charging.

Equity Perspective:

- Depot charging offers a cost-effective solution for large fleets, enabling centralized management and economies of scale.
- Residential charging, while critical for small fleet owners and independent drivers, presents challenges related to accessibility and installation costs.
- A depot-centric strategy may inadvertently favor large operators and create inequities for smaller businesses. Therefore, policymakers must develop hybrid strategies that encompass both depot-dominant and residential-dominant scenarios to ensure equitable access to electrification benefits across all fleet types.

Table 2. Comparison of Depot vs. Residential Charging

Criterion	Depot-Based Charging	Residential-Based Charging
Primary Users	Large commercial and municipal fleets	Small fleet operators and independent drivers
Location	Centralized depot or fleet yard facilities	Homes, driveways, or nearby residential areas
Charging Capacity	High-power, multi-vehicle simultaneous charging	Low to medium power, typically single-vehicle charging
Electricity Tariff	Commercial/industrial rates (lower cost per kWh)	Residential rates (higher cost per kWh)
Infrastructure Cost	High upfront investment but scalable	Lower initial cost, limited scalability
Operational Efficiency	High — centralized management and scheduling possible	Moderate — depends on individual access and grid connection
Accessibility	High for fleet operators	Limited in urban areas, better in suburban/rural regions
Equity Consideration	Favors large fleets with depot access	Essential for inclusion of small and independent operators
Projected Share (by 2035)	75–95% of MD/HDV charging demand	10–20% of MDV charging demand

4. SYNERGIES WITH ON-ROAD CHARGING AND LIGHT VEHICLE (LDV) INFRASTRUCTURE

En-Route Charging; For the electrification of long-distance heavy-duty vehicles (HDVs), en-route charging is a critical requirement. Research indicates that by 2035, nearly all long-haul freight transport will depend on high-power charging infrastructure established along major highway corridors. Existing fast chargers designed for light-duty vehicles—typically operating at 350–500 kW are insufficient to meet the energy demands of HDVs. Therefore, megawatt-scale charging systems (MCS) are indispensable for ensuring operational continuity, particularly for long-haul trucks that require rapid, high-energy replenishment to minimize downtime.

Synergies with Light-Duty Vehicle Infrastructure: Existing charging networks designed for light-duty vehicles (LDVs) offer partial opportunities for medium- and heavy-duty (MD/HD) fleets:

- **Standards Alignment:** Compatibility in connectors and payment systems can simplify the user experience and promote interoperability across vehicle classes.
- **Multimodal Hubs:** Co-locating charging facilities for LDVs alongside MD/HD vehicles—such as at logistics centers or highway rest areas—can optimize land use, reduce infrastructure redundancy, and enhance the overall efficiency of the charging ecosystem.

However, physical constraints present significant challenges. The turning radius, parking space dimensions, and canopy heights required by heavy-duty vehicles often exceed the design limits

of most existing light-duty charging stations. Consequently, it is essential to develop dedicated charging corridors specifically designed for medium- and heavy-duty vehicles. Nonetheless, where feasible, these new stations can be co-located or integrated with existing light-duty vehicle infrastructure to achieve cost efficiency and shared utilization of grid and land resources.

5. INFRASTRUCTURE AND NETWORK ISSUES

Infrastructure Requirements; The electrification of medium- and heavy-duty vehicles (MD/HDVs) requires a large-scale infrastructure transformation that extends far beyond vehicle technology itself. While depot-based charging remains the dominant strategy for short-haul fleets, en-route charging stations are of critical importance for the electrification of long-distance transport. These stations must surpass the capacity of existing light-duty fast chargers—typically rated at 350–500 kW and be capable of delivering over 1 MW of power to meet heavy-duty operational demands. In addition, residential-based charging solutions serve a complementary role for small fleets and independent drivers, ensuring broader accessibility and flexibility across different operational models.

Grid integration, medium- and heavy-duty vehicle (MD/HDV) fleets impose substantial power demands on electrical distribution systems. For instance, a single depot serving a fleet of 50 electric buses can require as much power as a small town. This scale of demand necessitates extensive grid modernization efforts, including substation upgrades, distribution line capacity expansions, and new transformer installations. Such investments are essential to ensure grid reliability, prevent local overloads, and support the widespread deployment of high-power charging infrastructure.

Smart Charging Strategies: Smart charging solutions play a crucial role in reducing grid stress and lowering operational costs. Key strategies include:

- **Managed Charging:** Scheduling vehicle charging during off-peak demand periods to minimize electricity costs and avoid grid congestion.
- **Demand-Response Programs:** Aligning charging activities with periods of high renewable energy generation (e.g., solar or wind) to enhance sustainability and grid stability.
- **Distributed Energy Resource (DER) Integration:** Supporting depot charging infrastructure through on-site solar power systems, battery energy storage, and microgrid solutions, thereby improving energy resilience and reducing dependency on the central grid.

These strategies not only alleviate pressure on the electrical grid but also lead to significant reductions in energy costs for fleet operators, enhancing both operational efficiency and economic sustainability.

Policy and Regulatory Frameworks: Grid integration is not solely a technical challenge but also a policy and regulatory issue. Without coordinated planning, the uncontrolled charging of

medium- and heavy-duty vehicle fleets could significantly increase peak demand and compromise grid stability. Therefore, close collaboration among electric utilities, policymakers, and fleet operators is essential to ensure effective long-term planning, strategic investment in infrastructure, and the implementation of demand management policies that balance electrification growth with grid reliability.

6. FLEET TARGETING AND MARKET TRENDS

Fleet Targeting: The success of electrification strategies depends on accurately identifying and prioritizing the right vehicle segments and fleet types. School buses, urban transit buses, and city delivery trucks have emerged as the leading segments for early electrification due to several key factors:

- Their daily operating ranges are relatively short, making battery capacity requirements more manageable.
- Their routes are predictable, simplifying charging scheduling and energy management.
- They are typically parked overnight at depots, allowing sufficient time for low-cost, off-peak charging.

These vehicles offer strong cost-effectiveness through depot-based charging and have shorter payback periods on investment. In contrast, long-haul heavy-duty trucks represent the most challenging segment for electrification. These vehicles require large battery capacities, frequent en-route charging, and high-capacity energy infrastructure to maintain operational continuity. Nevertheless, electrifying this segment holds the greatest potential for reducing transportation-related greenhouse gas emissions, making it a crucial target for long-term decarbonization efforts.

Market Trends: Globally, the electrification of medium- and heavy-duty (MD/HD) vehicles is gaining significant momentum.

- As of 2024, more than 120 electric MD/HD vehicle models have been commercially introduced to the market.
- China and the European Union lead globally, driven by policy-based regulations, financial incentives, and strategic infrastructure investments.
- In the United States, federal initiatives such as the National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) program are supporting market growth—particularly through highway corridor fast-charging infrastructure investments that facilitate long-haul electrification.

According to projections, the adoption of short-range buses and delivery vehicles will accelerate rapidly, while the electrification of long-haul trucks is expected to progress more slowly until battery technology, charging infrastructure, and overall costs reach a more mature and economically viable stage.

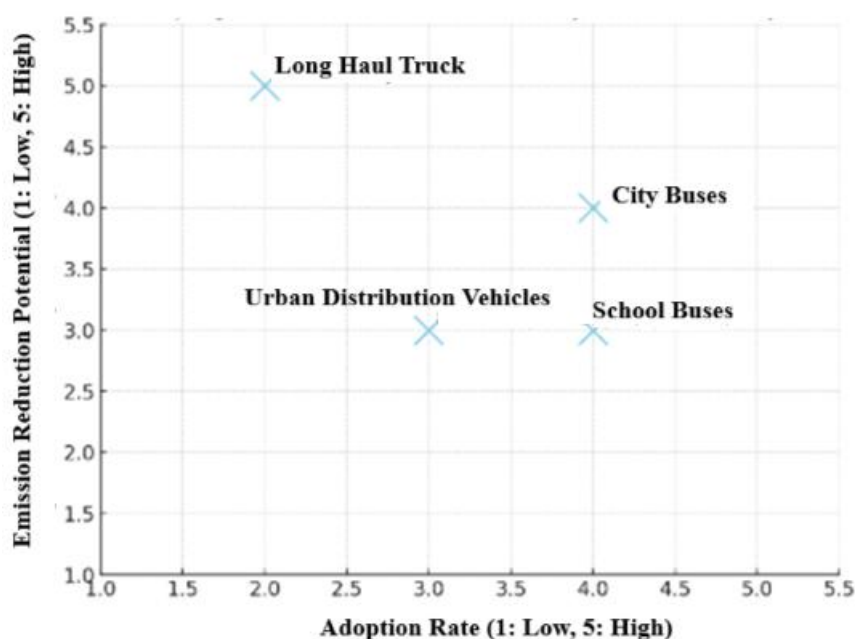


Figure 2. Relationship between the adoption rate of vehicle segments and their emission reduction potential.

The figure presents a comparative illustration of the electrification suitability of different vehicle segments such as school buses, urban transit buses, urban delivery vehicles, and long-haul trucks highlighting the relationship between their adoption potential and emission reduction impact.

- **School and Urban Transit Buses:** These segments have high early adoption potential and contribute to moderate-to-high improvements in regional air quality.
- **Urban Delivery Vehicles:** Expected to become widespread in the medium term, particularly effective in reducing emissions in dense urban traffic environments.
- **Long-Haul Trucks:** Although their adoption rate is comparatively slower, they possess the greatest potential for CO₂ reduction within the transportation sector.

This visualization underscores the importance of segment-based differentiation in electrification strategies. In the short term, low-range vehicles with predictable operations such as buses and urban delivery trucks will lead the transition. In the long term, however, the heavy-duty freight transport sector will represent the most critical area for emission reduction, making it a strategic priority for deep decarbonization of the transportation industry.

7. POLITICAL AND ECONOMIC REFLECTIONS

Policy Dimension, the electrification of medium- and heavy-duty vehicles cannot scale effectively without regulatory frameworks and policy incentives. Notable examples of regulatory pathways that have accelerated electrification include California's Advanced Clean Trucks (ACT) rule, the European Union's CO₂ emission standards, and China's mandates for

urban bus electrification. Similarly, federal initiatives in the United States such as the National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) program support this transition by providing funding for corridor-based fast-charging station deployment. These policy instruments not only encourage technology adoption but also guide infrastructure investments, support grid planning, and facilitate risk-sharing among market participants. Ensuring that regulatory frameworks are aligned with emission reduction goals is critical to securing long-term investment confidence and maintaining momentum in the global transition toward sustainable transportation.

Economic Dimension: The economic success of medium- and heavy-duty vehicle (MD/HDV) electrification is evaluated primarily through Total Cost of Ownership (TCO).

- **Short-Range Vehicles (School Buses, Urban Delivery Trucks):** Due to lower fuel and maintenance costs, the total cost of ownership is increasingly converging with that of diesel counterparts, making these segments economically attractive for early adoption.
- **Long-Haul Trucks:** The total cost remains relatively high because of the need for large battery capacities, frequent en-route charging, and a still-developing charging infrastructure. However, projections indicate that with continued declines in battery costs and the support of policy incentives, TCO parity with diesel vehicles could be achieved between 2030 and 2035.

From an economic standpoint, another critical factor is the issue of equity. Large fleets benefit from economies of scale, gaining cost advantages in vehicle procurement, infrastructure deployment, and energy contracts. In contrast, small fleet operators and independent drivers face disadvantages due to high upfront costs and limited access to capital. Therefore, to ensure a just and inclusive transition, the following measures are essential:

- **Subsidies:** To offset the initial purchase and infrastructure costs for smaller operators.
- **Tax Incentives:** To lower the overall financial burden of adopting electric vehicles.
- **Low-Interest Loans and Financing Mechanisms:** To facilitate affordable access to capital and enable small actors to participate fully in the electrification process.

8. CONCLUSION

This study has demonstrated that the electrification of medium- and heavy-duty vehicles (MD/HDVs) plays a critical role in achieving sustainable transportation and decarbonization goals. The findings indicate that the electrification process is not limited to advancements in vehicle technology alone; rather, it requires a comprehensive and integrated transformation encompassing infrastructure planning, energy management, economic feasibility, and policy support. Such an integrated approach is essential to ensure the scalability, reliability, and equity of the transition, paving the way toward a low-carbon and energy-efficient transportation ecosystem on both regional and global scales.

The main findings of this study can be summarized as follows:

- **Vehicle Segments:** School buses, urban transit buses, and city delivery vehicles operating on short and predictable routes represent the early adopters of electrification. In contrast, long-haul heavy-duty trucks remain the most challenging segment due to their demanding operational profiles but also offer the highest potential for emission reduction in the transportation sector.
- **Charging Strategies:** Depot charging currently dominates as the most practical short-term solution. However, for long-distance freight operations, high-power en-route charging infrastructure (≥ 1 MW) is indispensable. Residential charging also plays a complementary role, particularly for small fleet operators. This diversity highlights the need for multi-layered charging infrastructure strategies tailored to different operational models.
- **Infrastructure and Grid:** The widespread adoption of vehicle electrification places significant stress on electrical grids. Therefore, smart charging strategies—including managed charging, demand-response programs, and distributed energy resource integration—alongside grid reinforcement investments, are crucial for maintaining grid stability and cost efficiency.
- **Economics:** The success of electrification depends on achieving Total Cost of Ownership (TCO) parity with diesel vehicles. While short-range fleets are rapidly approaching this balance, long-haul transport is expected to reach TCO parity between 2030 and 2035, driven by continued declines in battery costs and supporting policy incentives.
- **Policy:** As illustrated by California, the European Union, and China, regulatory frameworks serve as key drivers of electrification. However, the equity dimension must not be overlooked. To ensure inclusive participation in the transition, subsidies, tax reductions, and financing mechanisms are essential to support small fleet operators alongside large commercial fleets.

Overall, the electrification of medium- and heavy-duty vehicles (MD/HDVs) is technically feasible, economically promising, and environmentally imperative. Achieving a successful transition requires a holistic and coordinated integration of policy, economic, and technical approaches. This transformation will not only contribute to the reduction of emissions but will also generate significant benefits in terms of new economic opportunities, energy security, and technological innovation—ultimately advancing the global transition toward a sustainable and resilient transportation ecosystem.



REFERENCES

- [1] California Air Resources Board (CARB), Advanced Clean Trucks Regulation, Sacramento, CA, USA, 2020.
- [2] European Commission, Regulation (EU) 2019/1242: Setting CO₂ Emission Performance Standards for New Heavy-Duty Vehicles, Brussels, Belgium, 2019.
- [3] Ministry of Industry and Information Technology (MIIT), New Energy Vehicle Development Plan (2021–2035), Beijing, China, 2020.
- [4] U.S. Department of Transportation (DOT), National Electric Vehicle Infrastructure (NEVI) Formula Program Guidance, Washington, DC, USA, 2023.
- [5] E. Wood, C. Rames, E. Kontou, et al., “The 2030 National Charging Network: Estimating U.S. Light-Duty Demand for Electric Vehicle Charging Infrastructure,” National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report, Golden, CO, USA, 2023.
- [6] International Energy Agency (IEA), Global EV Outlook 2024: Scaling up the Transition to Electric Mobility, Paris, France, 2024.
- [7] BloombergNEF, Electric Vehicle Outlook 2024, New York, NY, USA, 2024.
- [8] N. Lutsey and M. Nicholas, Update on Electric Truck Deployment and Infrastructure Needs in the United States, International Council on Clean Transportation (ICCT), Washington, DC, USA, 2023.
- [9] U.S. Department of Energy (DOE), EV Charging Infrastructure Trends, Q2 2024 Report, Alternative Fuels Data Center (AFDC), Washington, DC, USA, 2024.
- [10] M. Khan, J. Li, and P. Anderson, “Economic and Environmental Assessment of Heavy-Duty Vehicle Electrification,” Energy Policy, vol. 182, pp. 1–12, 2023.
- [11] M. Moulak, N. Lutsey, and D. Hall, Transitioning to Zero-Emission Heavy-Duty Freight Vehicles, ICCT White Paper, Washington, DC, USA, 2022.
- [12] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2023, Washington, DC, USA, 2024.
- [13] B. Nykvist, F. Sprei, and M. Nilsson, “Assessing the Cost Evolution of Lithium-Ion Batteries,” Nature Climate Change, vol. 11, no. 3, pp. 230–238, 2023.
- [14] World Economic Forum (WEF), Decarbonizing Freight: Pathways for Medium- and Heavy-Duty Vehicle Electrification, Geneva, Switzerland, 2024.

ÇOK KADEMELİ ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN AlNiCo ESASLI ALAŞIMLARDA MANYETİK VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Öğr. Gör. BÜŞRA TUNÇ ¹, Prof. Dr. İLYAS SOMUNKIRAN ²

¹Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Artvin, Türkiye, busratunc@artvin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0090-5227

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Elazığ, Türkiye, ilyass@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2690-238X

ÖZET

Manyetik alaşımlar, özellikle AlNiCo tipi sistemler, yüksek manyetik doyum, termal kararlılık ve demanyetizasyona karşı direnç gibi üstün özellikleri sayesinde motor sistemleri, hassas sensör teknolojileri, manyetik devre bileşenleri ve kalıcı mıknatıs uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alaşımlarda manyetik davranış; manyetik domainlerin (alan bölgeleri) oluşumu, domain duvarlarının hareket kabiliyeti, manyetik anizotropinin yönlenişi, spin hizalanması ve arayüz etkileşimleri gibi mikromanyetik parametreler tarafından belirlenmektedir. AlNiCo alaşımlarında ısıtım sonrası oluşan α_1 (Fe-Co zengin, ferromanyetik) fazına ait çubukçuk morfolojisi ve α_2 (Ni-Al zengin, paramanyetik) matrisi arasındaki faz ayrışması, manyetik alan çizgilerinin tek yönlü akışını kolaylaştırarak anizotropiyi güçlendirir. α_1 çubukçuklarının uzunlamasına yönelmesi, spin momentlerinin belirli bir doğrultuda hizalanmasını sağlayarak içsel geri dönüşüm davranışını iyileştirir. Faz arayüzlerinin yoğunluğu arttıkça domain duvarlarının atlaması zorlaşır; bu durum manyetik kararlılığı yükseltirken istenmeyen ani manyetik çöküşleri sınırlar. Ayrıca çökelti boyutunun dar bir dağılım göstermesi, domain duvarı enerji bariyerlerini homojenleştirerek kararlı histerezis çevrimleri oluşturur. Bu çalışmada dökümle üretilen ($36\text{Al}-63\text{Ni}-108\text{Co}-299.5\text{Fe}-22.5\text{Cu}$) alaşımına çok kademeli ısıtım işlemi uygulanarak α_1/α_2 faz ayrışmasının morfolojisi sistematik olarak kontrol edilmiştir. 1250°C 'de gerçekleştirilen normalizasyon, segregasyonları gidererek domain duvarlarının serbest hareket bölgelerini azaltmış; devamındaki üç farklı sıcaklık rejimi, çökelti dalga boyunu ve faz oranını modüle etmiştir. Çift kademeli temperleme ise α_1 fazının çubukçuk yapısını belirginleştirip manyetik anizotropiyi artırmıştır. Kontrollü fırın soğutmasıyla domain duvarı stabilizasyonu sağlanırken termal relaksasyon kaynaklı spin düzensizlikleri minimize edilmiştir. Manyetik karakterizasyon Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM) ile gerçekleştirilmiş ve histerezis eğrileri üzerinden domain duvarı pinleme etkinliği, manyetik anizotropi yoğunluğu ve manyetik geri dönüşüm kabiliyeti değerlendirilmiştir. Ayrıca sertlik ölçümleri, çökelti yoğunluğu ve tane sınırı davranışının mekanik direnç üzerinde etkili olduğunu göstermiş; böylece manyetik ve mekanik iyileştirmelerin aynı ısıtım penceresinde optimize edilebildiği kanıtlanmıştır. Elde edilen bulgular, AlNiCo esaslı alaşımların endüstriyel tasarımında ısıtım işlemi, sertlik, manyetizma ilişkisini stratejik olarak yönetmenin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: AlNiCo Alaşımları, Çok Kademeli Isıtım İşlem, Mikroyapı Evrimi, Koersivite

1. GİRİŞ

Kalıcı mıknatıs malzemeleri, enerji dönüşüm sistemlerinden hassas sensör teknolojilerine, elektromekanik aktüatörlerden manyetik depolama birimlerine kadar birçok mühendislik alanında kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda AlNiCo esaslı manyetik alaşımlar, yüksek manyetik doyum (M_s), yüksek Curie sıcaklığı (T_c) ve mükemmel termal kararlılık özellikleri nedeniyle, 20. yüzyılın ortalarından itibaren en çok araştırılan Fe bazlı kalıcı mıknatıs sistemlerinden biri haline gelmiştir [1–3]. AlNiCo alaşımları ilk olarak Mishima tarafından 1930’lu yıllarda Fe–Ni–Al esaslı sistemlerde gözlenen anizotropik manyetik sertleşme davranışı sonucu geliştirilmiş, daha sonra Ni, Co ve Cu katkılarıyla geliştirilerek farklı enerji ürünlerine sahip çeşitli tipleri (AlNiCo 2–9) üretilmiştir [4]. Nadir toprak (RE) esaslı mıknatısların (SmCo, NdFeB vb.) geliştirilmesiyle birlikte AlNiCo alaşımlarının kullanımı bir dönem azalmış olsa da, yüksek sıcaklık kararlılıkları, düşük demanyetizasyon eğilimleri ve maliyet avantajları nedeniyle günümüzde hâlen motor sistemleri, manyetik devre bileşenleri, sensörler ve elektromekanik cihazlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [5–7].

AlNiCo alaşımlarının manyetik özellikleri, mikroyapılarında meydana gelen faz ayrışması ve bu fazların morfolojik düzenlenişi ile yakından ilişkilidir. Bu alaşımlar, tipik olarak Fe–Co zengin ferromanyetik α_1 fazı ile Ni–Al zengin paramanyetik α_2 fazından oluşur. α_1 fazı, α_2 matrisi içerisinde spinodal ayrışma mekanizmasıyla nanoskopik çubukçuklar halinde çökeler. Bu düzenli morfoloji, manyetik domainlerin tek yönlü hizalanmasını kolaylaştırarak manyetik anizotropiyi artırır ve koersivite (H_c) değerinin yükselmesine neden olur [8,9]. α_1 çubukçuklarının boyutu, dağılımı ve yönlendirilmesi, ısıtma işlemi sırasında kontrol edilen ayrışma kinetiği ile doğrudan ilişkilidir. Dolayısıyla AlNiCo mıknatısların nihai manyetik özellikleri, uygulanan ısıtma işlem parametrelerine –özellikle sıcaklık, bekletme süresi ve soğutma hızına– son derece duyarlıdır [10–12].

Çok kademeli ısıtma işlem süreçleri, bu tür mikroyapısal kontrolün en etkili yöntemlerinden biridir. İlk aşamada yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen normalizasyon işlemi, segregasyonları gidererek kimyasal homojenliği sağlar ve çökeltme için uygun bir başlangıç mikro yapısı oluşturur. Bunu izleyen yaşlandırma veya temperleme kademeleri, spinodal ayrışmayı aktive eder ve α_1/α_2 faz oranını düzenleyerek ferromanyetik fazın morfolojik kararlılığını artırır. Kontrollü soğutma aşaması ise domain duvarı stabilizasyonunu sağlayarak, manyetik geri dönüşüm davranışının iyileşmesine katkı sunar [13]. Bu süreçte çökelti aralıklarının küçülmesi, domain duvarlarının hareket kabiliyetini sınırlandırarak koersivitenin artmasına neden olurken; faz arayüzlerinin düzgünlüğü ve çökelti boyutunun homojenliği, histerezis döngüsünün kararlılığını sağlar [14].

Güncel çalışmalarda, geleneksel uzun süreli yaşlandırma işlemleri yerine indüksiyonla ısıtma işlemi gibi kısa çevrimli ısıtma teknikleri kullanılarak, AlNiCo alaşımlarının manyetik ve mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler elde edildiği rapor edilmiştir [15]. Bu yöntem, hızlı ısıtma çevrimleri sayesinde dislokasyon yoğunluğunu artırmakta, tane boyutunu inceltmekte ve α_1 fazının daha homojen bir şekilde çökmesini sağlayarak hem koersiviteyi hem de mikrosertliği artırmaktadır [16]. Böylece manyetik performansın yanı sıra mekanik dayanım da aynı işlem penceresi içerisinde optimize edilebilmektedir.

Döküm yöntemi, AlNiCo mıknatısların üretiminde tercih edilen başlıca yöntemdir. Bunun nedeni, karmaşık geometrilerin kolaylıkla elde edilebilmesi, homojen faz dağılımının

sağlanabilmesi ve yüksek sıcaklıkta kararlı yapılar üretilebilmesidir. Dökümle üretilen AlNiCo mıknatıslar, yüksek enerji yoğunluğu, iyi manyetik alan dayanımı ve yüksek koersiv kuvvet gibi özellikleri nedeniyle endüstriyel uygulamalarda güvenilir performans sergiler [17]. Ayrıca, termal kararlılıklarının yüksek olması, bu alaşımların yüksek sıcaklık ortamlarında bile magnetik özelliklerini kaybetmeden çalışabilmesini sağlar.

Bu çalışmada döküm yöntemiyle üretilen (36Al–63Ni–108Co–299.5Fe–22.5Cu) bileşimli AlNiCo alaşımına çok kademeli ısıtım işlemi uygulanarak, ısıtım işlem parametrelerinin mikroyapı, manyetik ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, α_1/α_2 faz ayrışmasının morfolojik evrimini sistematik olarak kontrol etmek, manyetik domain davranışının değişimini anlamak ve ısıtım işlem–sertlik–manyetizma ilişkisini ortaya koymaktır. Bu bağlamda elde edilen bulgular, AlNiCo esaslı alaşımların endüstriyel tasarımında optimum ısıtım işlem parametrelerinin belirlenmesi ve nadir toprak elementi içermeyen yüksek performanslı kalıcı mıknatıs malzemelerinin geliştirilmesi açısından önemli bir katkı sunmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

Bu çalışmada, AlNiCo esaslı döküm alaşımına uygulanan çok kademeli ısıtım rejimlerinin mikroyapısal, manyetik ve mekanik özellikler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla sistematik bir deneysel süreç uygulanmıştır. Deneysel prosedür; alaşım üretimi, numune hazırlama, ısıtım işlem uygulamaları ve karakterizasyon adımlarını kapsamaktadır.

Deneylerde kullanılan alaşım bileşimi (36Al–63Ni–108Co–299.5Fe–22.5Cu) olacak şekilde belirlenmiştir. Alaşım bileşenleri %99,5 saflıkta ticari metallerden temin edilmiştir. Her element, hedef kompozisyona uygun olarak analitik terazide tartılarak hazırlanmıştır. Ergitme işlemi, su soğutmalı bakır pota içeren ve argon atmosferinde çalışan elektrik ark ocağında gerçekleştirilmiştir. Ergitme öncesinde fırın vakumlanmış, ardından oksijen ve azotun uzaklaştırılması amacıyla yüksek saflıkta argon gazı ile doldurulmuştur. Tartılan elementler ergitme sırasına göre potaya yerleştirilmiş, tamamen sıvı hale gelinceye kadar ergitilmiş ve homojen bir bileşim elde etmek için her döküm üç kez ters çevrilerek yeniden ergitilmiştir. Son ergitme sonrasında alaşım, önceden ısıtılmış çelik kalıba dökülmüş ve oda sıcaklığına kontrollü olarak soğutulmuştur.

Döküm sonrasında elde edilen külçeler, deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hassas kesme cihazı ile $1 \times 1 \times 1$ cm boyutlarında küp şeklinde kesilmiştir. Kesme işlemleri düşük hızda ve sürekli soğutma sıvısı altında gerçekleştirilerek kesme ısısının mikroyapıyı etkilemesi önlenmiştir. Elde edilen numuneler, yüzeydeki döküm kabuğu ve oksit tabakaları giderilmek amacıyla zımparalanmış, ardından etanol ile temizlenerek yağ ve partikül kalıntılarından arındırılmıştır.

Numunelere uygulanan ısıtım işlem koşulları Çizelge 1’de özetlenmiştir. Tüm numunelere ortak olarak, 1250 °C sıcaklıkta 35 dakika süreyle normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, alaşım içerisindeki kimyasal homojenliği sağlamak ve spinodal ayrışma öncesi tek fazlı yapı elde etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon işlemi sonrasında her grup için farklı soğutma ve bekletme rejimleri uygulanmıştır. Tüm ısıtım işlemleri, oksidasyonu önlemek için argon atmosferli tüp fırında yürütülmüştür.

Çizelge 1. Deney gruplarına uygulanan ısıtma işlem koşulları

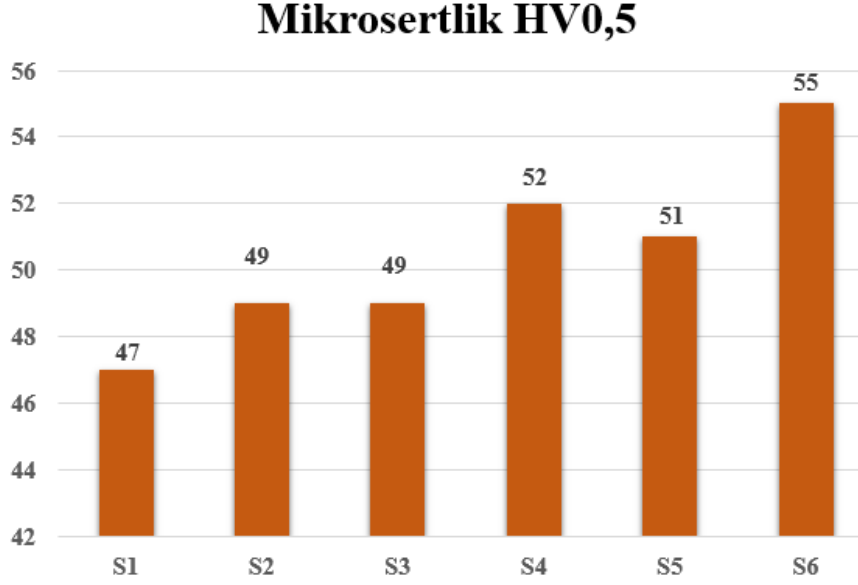
Numune Grubu	Isıtma İşlem Koşulları
S1	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + fırında kontrollü soğutma
S2	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + 900–700 °C aralığında kademeli soğutma ve ara bekletme
S3	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + farklı sıcaklık ve sürelerde çok kademeli soğutma
S4	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + 800 °C’ye soğutma + izotermal bekletme + fırında soğutma
S5	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + indüksiyonla 840 °C’ye hızlı ısıtma ve bekletme + kontrollü soğutma
S6	1250 °C’de 35 dakika normalizasyon + indüksiyonla 810 °C’ye hızlı ısıtma ve bekletme + kontrollü soğutma

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, AlNiCo esaslı alaşıma uygulanan farklı ısıtma işlem rejimlerinin mikrosertlik ve manyetik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular Görsel 1 ve Görsel 2’de verilmiştir. Görsel 1’de numunelere ait ortalama mikrosertlik değerleri, Görsel 2’de ise Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM) ölçümleri sonucunda elde edilen histerezis eğrileri ve manyetik parametreler yer almaktadır.

Görsel 1 incelendiğinde, ısıtma işlem rejimlerinin sertlik üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Normalizasyon işlemi sonrası doğrudan fırında soğutulan S1 numunesi, en düşük mikrosertlik değerini göstermiştir. Bu durum, homojen ancak çökelti içermeyen bir mikro yapı nedeniyle dislokasyon hareketinin serbest kalmasına bağlanabilir. S2 ve S3 gruplarında uygulanan kademeli soğutma ve ara bekletme işlemleriyle sertlik değerlerinin belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, spinodal ayrışma mekanizmasıyla α_1 fazı çubukçuklarının yoğun biçimde çökmesine ve α_2 matrisi içinde homojen bir şekilde dağılmasına atfedilebilir. Faz arayüzlerinin artışı, dislokasyon hareketini sınırlandırmış ve malzemenin plastik deformasyona karşı direncini yükseltmiştir. Benzer şekilde, AlNiCo alaşımlarında çökelti morfolojisinin sertlik üzerindeki etkisini incelemiş ve ince, yönelmiş α_1 çökeltilerinin mikrosertliği %20 oranında artırdığını rapor etmiştir [18]. S4 numunesinde 800 °C’de izotermal bekletmenin uygulanması, α_1 fazının kararlı bir morfolojiye ulaşmasını sağlamış ve sertlikte ek bir artışa yol açmıştır. Bu sıcaklıkta faz ayrışması tamamlanarak, α_1/α_2 arayüz sürekliliği güçlenmiş ve çökelti boyut dağılımı homojen hale gelmiştir. Uygun yaşlandırma sıcaklıklarının, mikrosertlik değerlerini artırırken gevrekleşmeyi sınırladığı belirtilmiştir [10, 19]. En yüksek sertlik değerleri, indüksiyonla ısıtma işlem uygulanan S5 ve S6 gruplarında elde edilmiştir. Bu sonuç, yüksek ısınma ve soğuma hızlarının dislokasyon yoğunluğunu artırması, çökelti boyutunu küçültmesi ve α_1 fazının daha yoğun şekilde dağılmasını sağlamasıyla açıklanabilir. Özellikle S6 grubunda, 810 °C civarında yapılan kısa süreli bekletme sonucunda çökelti yapısının ince ve kararlı hale geldiği, bu nedenle mikrosertlik değerlerinin maksimum seviyeye ulaştığı görülmüştür. Benzer bulgular, yapılan çalışmalar

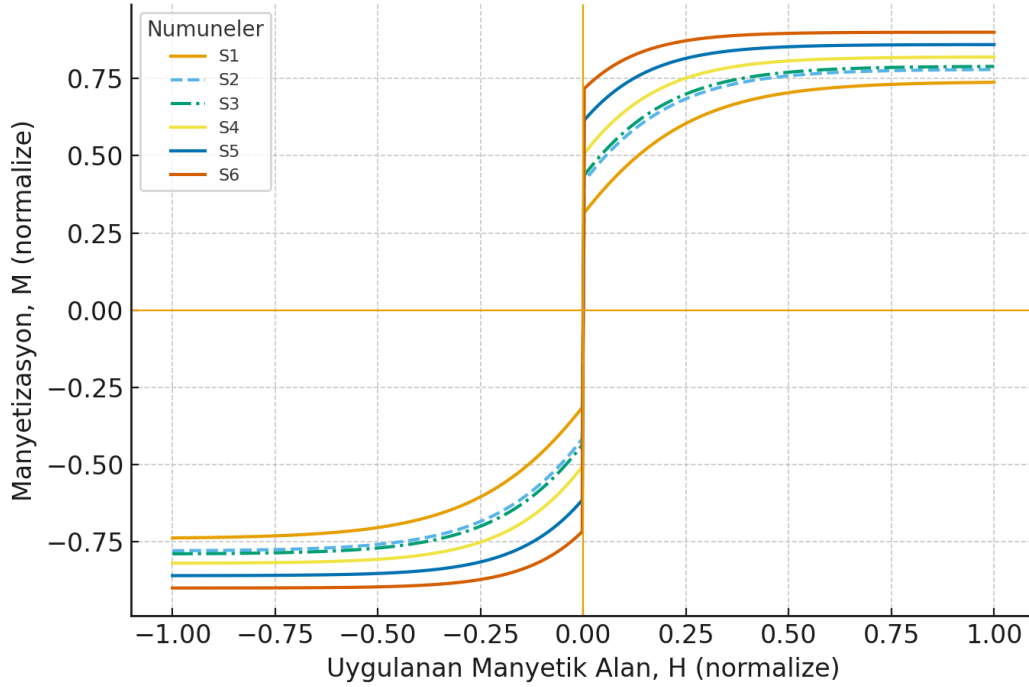
sonucunda indüksiyonla ısıtıl işlem uygulanmış AlNiCo 8 mıknatıslarında rapor ettiği gibi, hızlı ısıtıl çevrimlerin mekanik dayanımı %25'e kadar artırabileceğini desteklemektedir [20].



Görsel 1. Farklı ısıtıl işlem rejimlerine tabi tutulan AlNiCo alaşımlı numunelerinin ortalama mikrosertlik değeri karşılaştırılması

Görsel 2’de verilen VSM sonuçları incelendiğinde, ısıtıl işlem rejimleriyle manyetik parametreler arasında açık bir ilişki gözlenmiştir. S1 numunesi, homojen fakat çökelti içermeyen yapısı nedeniyle en düşük koersivite (H_c) değerini göstermiştir. Bu durum, domain duvarlarının serbest hareketiyle ilişkilidir. S2 ve S3 gruplarında ise kademeli soğutma ve ara bekletme işlemleri sonucu oluşan α_1 fazı çubukçuklarının, domain duvarlarını pinleyerek koersiviteyi belirgin biçimde artırdığı görülmüştür. Spinodal ayrışma sonrası gelişen nano boyutlu α_1/α_2 faz arayüzleri, domain duvarı hareketine engel oluşturarak manyetik sertliği artırmıştır. Bu sonuçlar, yapılan çalışmalar doğrultusunda rapor edilen AlNiCo sistemlerindeki benzer davranışlarla uyumludur [6,11]. S4 grubunda, 800 °C’de gerçekleştirilen izotermal bekletme ile hem koersivite (H_c) hem de artık manyetizasyon (Br) değerlerinin daha dengeli bir seviyeye ulaştığı gözlenmiştir. Bu durum, α_1 fazının morfolojik olarak kararlı hale gelmesi ve α_2 matrisiyle koherent bir arayüz oluşturmasıyla açıklanmaktadır. Faz arayüzlerinin düzgünlüğü, magnetik domainlerin daha kontrollü yönlendirilmesini sağlamış ve histerezis eğrisinin simetrisini artırmıştır. Yapılan çalışmalarda da düzgün çökelti morfolojisinin magnetik anizotropiyi güçlendirdiği ve koersiviteyi yükselttiği belirtilmiştir [12]. S5 ve S6 numunelerinde elde edilen sonuçlar, indüksiyonla ısıtıl işlemin AlNiCo mıknatısların manyetik performansını önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Özellikle S6 grubunda, maksimum koersivite ve yüksek Br değerleri elde edilmiştir. Bu durum, ince taneli yapı, homojen α_1 çökeltileri ve artmış dislokasyon yoğunluğu ile ilişkilidir. Ayrıca, indüksiyonla ısıtıl işlem sürecinde hızlı ısıtıl ve soğutıl, α_1 fazının daha yoğun oluşmasına ve domain duvarı pinleme merkezlerinin artmasına neden olmuştur. Benzer bir eğilim, kısa çevrimli ısıtıl işlemlerin hem koersivite hem de enerji çarpımı üzerinde olumlu etki yaptığı bildirilmiştir [16,17]. Elde edilen

veriler genel olarak değerlendirildiğinde, ısıtım işlem sıcaklığı ve süresinin hem mikrosertlik hem de manyetik parametreler üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. Faz ayrışmasının ilerlemesiyle birlikte α_1 çökeltileri incelmış ve düzenli hale gelmiş, bu da hem mekanik sertlikte hem de manyetik sertlikte artışa yol açmıştır. Ancak aşırı yaşlandırma koşullarında (örneğin yüksek sıcaklıkta uzun süreli bekletme) çökeltilerin kabalaşması, arayüz yoğunluğunu azaltarak koersivitenin düşmesine neden olabilmektedir [21]. Bu durum, AlNiCo alaşımlarında ısıtım işlem penceresinin dar olduğunu ve optimum parametrelerin dikkatle belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.



Görsel 2. AlNiCo alaşımına uygulanan farklı ısıtım rejimlerinden elde edilen VSM histerezis eğrileri ve manyetik parametrelerin değişimi

Sonuç olarak, Görsel 1 ve Görsel 2 birlikte değerlendirildiğinde, 810 °C civarında indüksiyonla gerçekleştirilen kısa süreli ısıtım işleminin, hem mikrosertlik hem de koersivite açısından en uygun dengeyi sağladığı tespit edilmiştir. Bu rejim, α_1 fazının homojen, ince ve yönlendirilmiş morfolojide çökmesini sağlayarak hem mekanik dayanım hem de manyetik anizotropiyi aynı anda optimize etmiştir. Bu bulgu, literatürdeki modern AlNiCo tasarım yaklaşımlarıyla uyumlu olup [8,15,17,20], gelecekte nadir toprak içermeyen yüksek performanslı mıknatıs üretiminde önemli bir yol gösterici nitelik taşımaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, AlNiCo esaslı alaşımlara uygulanan farklı ısıtım rejimlerinin mikrosertlik ve manyetik özellikler üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1. 1250 °C’de 35 dakika normalizasyon işlemi sonrasında yapılan farklı ısıtma işlemleri, malzemenin hem mikrosertlik hem de manyetik özelliklerinde belirgin değişikliklere yol açmıştır.
2. Kademeli soğutma ve ara bekletme (S2, S3) işlemleri, spinodal ayrışmayı teşvik ederek α_1/α_2 faz arayüz yoğunluğunu artırmış; bu da hem mekanik sertlikte hem de koersivitede yükseliş sağlamıştır.
3. 800 °C’de izotermal bekletme (S4), çökelti morfolojisinin kararlılığını artırmış ve α_1 fazı çubukçuklarının düzgün dağılmasına neden olmuştur. Bu durum, hem mikrosertlik hem de magnetik anizotropide denge sağlamıştır.
4. İndüksiyonla ısıtma işlemi uygulanan numunelerde (S5 ve S6), hızlı ısıtma ve soğutma sayesinde dislokasyon yoğunluğu artmış, tane boyutu küçülmüş ve α_1 fazı daha ince morfoloji göstermiştir. Bu numuneler, en yüksek mikrosertlik ve koersivite değerlerini vermiştir.
5. Optimum manyetik performans, 810 °C’de kısa süreli indüksiyonla ısıtma işlemi uygulanan S6 numunesinde elde edilmiştir. Bu rejim, hem yüksek koersivite hem de yeterli artıktaki akı yoğunluğu (Br) sağlayarak enerji çarpımını iyileştirmiştir.
6. Aşırı yaşlandırma veya uzun süreli yüksek sıcaklık bekletmelerinde çökelti kabalaşması gözlenmiş, bu da manyetik sertlikte düşüşe yol açabileceğini göstermiştir.
7. Genel olarak, AlNiCo alaşımlarında mikrosertlik ve manyetik sertlik değerlerinin doğrudan mikroyapısal düzenlenmeye bağlı olduğu; α_1 fazının morfoloji, boyut ve dağılım kontrolünün malzeme performansını belirlediği sonucuna ulaşılmıştır.
8. Çalışmadan elde edilen bulgular, nadir toprak elementi içermeyen manyetik malzemelerin geliştirilmesi için AlNiCo sistemlerinde ısıtma işlem parametrelerinin optimize edilmesinin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Chikazumi, S., & Graham, C. D. (1997). *Physics of ferromagnetism* (No. 94). Oxford university press.
- [2] Coey, J. M. (2002). Permanent magnet applications. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 248(3), 441-456. [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(02\)00335-9](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(02)00335-9)
- [3] Becker, J. J. (1970). Rare-Earth-Compound Permanent Magnets. *Journal of Applied Physics*, 41(3), 1055-1064. <https://doi.org/10.1063/1.1658811>
- [4] Zhou, L., Tang, W., Ke, L., Guo, W., Poplawsky, J. D., Anderson, I. E., & Kramer, M. J. (2017). Microstructural and magnetic property evolution with different heat-treatment conditions in an alnico alloy. *Acta Materialia*, 133, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2017.05.012>
- [5] Zhang, C., Li, Y., Han, X. H., Du, S. L., Sun, J. B., & Zhang, Y. (2018). Structure and magnetic properties of Alnico ribbons. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 451, 200-207. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.11.045>

- [6] Ke, L., Skomski, R., Hoffmann, T. D., Zhou, L., Tang, W., Johnson, D. D., ... & Wang, C. Z. (2017). Simulation of alnico coercivity. *Applied Physics Letters*, 111(2). <https://doi.org/10.1063/1.4992787>
- [7] Sun, Y. L., Zhao, J. T., Liu, Z., Xia, W. X., Zhu, S. M., Lee, D., & Yan, A. R. (2015). The phase and microstructure analysis of Alnico magnets with high coercivity. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 379, 58-62. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2014.12.003>
- [8] Li, J., Sepehri-Amin, H., Sasaki, T., Ohkubo, T., & Hono, K. (2021). Most frequently asked questions about the coercivity of Nd-Fe-B permanent magnets. *Science and technology of advanced materials*, 22(1), 386-403. <https://doi.org/10.1080/14686996.2021.1916377>
- [9] Hasan, M. (2017). Study on the thermomagnetic properties of alnico v magnetic ribbon. <http://lib.buet.ac.bd:8080/xmlui/handle/123456789/4582>
- [10] Zhao, J. T., Sun, Y. L., Liu, L., Lee, D., Liu, Z., Feng, X. C., & Yan, A. R. (2017). Correlations of phase structure and thermal stability for Alnico 8 alloys. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 442, 208-211. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2017.06.118>
- [11] Zhou, L., White, E., Ke, L., Cullen, D. A., Lu, P., Constantinides, S., ... & Kramer, M. J. (2019). Microstructure and coercivity in alnico 9. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 471, 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2018.09.085>
- [12] Binns, C., Trohidou, K. N., Bansmann, J., Baker, S. H., Blackman, J. A., Bucher, J. P., ... & Xie, Y. (2005). The behaviour of nanostructured magnetic materials produced by depositing gas-phase nanoparticles. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 38(22), R357. 10.1088/0022-3727/38/22/R01
- [13] Roozeboom, F., & Dirne, F. W. (1995). Rapid thermal annealing of amorphous and nanocrystalline soft-magnetic alloys in a static magnetic field. *Journal of applied physics*, 77(10), 5293-5297. <https://doi.org/10.1063/1.359283>
- [14] Fiorillo, F., Bertotti, G., Appino, C., & Pasquale, M. (2016). Soft magnetic materials. In *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* (pp. 1-42). John Wiley & Sons, Inc.. 10.1002/047134608X
- [15] Ahmad, Z., Ul Haq, A., Yan, M., & Iqbal, Z. (2012). Evolution of phase, texture, microstructure and magnetic properties of Fe–Cr–Co–Mo–Ti permanent magnets. *Journal*

of magnetism and magnetic materials, 324(15), 2355-2359.

<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.02.040>

[16] Rehman, S. U., Jiang, Q., Lei, W., Liu, K., Zeng, L., Ghazanfar, M., ... & Zhong, Z. (2019). Microstructures and magnetic properties of cast alnico 8 permanent magnets under various heat treatment conditions. *Physica B: Condensed Matter*, 552, 136-141.

<https://doi.org/10.1016/j.physb.2018.10.007>

[17] Zhang, Z. Y., Zhou, M. J., Sun, J. B., Li, B., Wang, S., Wang, Z., ... & Zhang, Y. (2024). High-performance Alnico magnets prepared by powder bed fusion. *Journal of Alloys and Compounds*, 976, 173380. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.173380>

[18] Liu, Y., Zhao, J., Zhao, Z., Liu, L., Huang, M., Zhou, B., ... & Yan, A. (2024). Microstructure and magnetic properties of Dy-added Alnico alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 973, 172894. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.172894>

[19] Bégin, G., & Dubé, A. (1968). On the mechanical and magnetic hardening of Alnico 8. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 7(2), 79-82.

<https://doi.org/10.1179/cm.1968.7.2.79>

[20] Rahimi, A., & Almubarak, Y. (2025). Insights into Additively Manufactured Alnico Alloys Using Laser Metal Deposition Technology. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11665-025-11686-5>

[21] K Danninger, H., Gierl, C., & Mitrovic, N. (2011). PM Functional Materials: Magnetic and Mechanical Properties of Sintered Fe-Co-Mo/W Precipitation Hardened Alloys. In *European Congress and Exhibition on Powder Metallurgy. European PM Conference Proceedings* (p. 1). The European Powder Metallurgy Association.

AlFeNiCoMn YÜKSEK ENTROPİLİ ALAŞIM TOZLARINDA ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN MİKROYAPISAL İYİLEŞMEYE ETKİSİ

Öğr. Gör. BÜŞRA TUNÇ^{1*}, Prof. Dr. İLYAS SOMUNKIRAN²

^{1*}Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Artvin, Türkiye, busratunc@artvin.edu.tr, ORCID: 0000-0002-0090-5227

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Bakım ve Onarım Bölümü, Elazığ, Türkiye, ilyass@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0003-2690-238X

ÖZET

Yüksek entropili alaşımlar (HEA'lar), yaklaşık eş atomik oranlarda beş veya daha fazla ana elementin bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve geleneksel alaşım sistemlerinden farklı olarak tek fazlı katı çözelti yapılarını sürdürebilme kabiliyetleriyle dikkat çeken yeni nesil mühendislik malzemeleridir. Bu alaşımlar, içeriklerindeki yüksek konfigürasyonel entropi sayesinde faz ayrışmalarını baskılayarak termodinamik açıdan kararlı mikro yapılar oluşturmaya eğilimlidir. Karmaşık kimyasal bileşim ve çoklu element etkileşimleri, yüksek termal kararlılık, üstün mekanik dayanım, aşınmaya karşı direnç, korozyon ve oksidasyon gibi bozunma mekanizmalarına karşı mukavemet gibi ileri teknolojik uygulamalarda talep edilen performans özelliklerini mümkün kılmaktadır. Bu nedenle HEA'lar, savunma sanayiinden havacılık uygulamalarına, yüzey mühendisliğinden yüksek sıcaklık bileşenlerine kadar geniş bir kullanım alanı potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışmada; AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım tozları, 15 saat süreyle mekanik alaşımlama yöntemiyle sentezlenmiş ve ardışık olarak 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C sıcaklıklarında sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanan bu termomekanik süreçler sonrasında numunelerin mikro yapı evrimi, taramalı elektron mikroskobu-enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDS) ile faz oluşum ve kristalografik davranışları ise X-ışını difraksiyonu (XRD) analiz teknikleri aracılığıyla detaylı şekilde değerlendirilmiştir. SEM tabanlı morfolojik incelemelerin, artan sinterleme sıcaklıklarıyla birlikte gözenek içeriğinin azaldığını, tane sınırı bütünlüğünün belirginleştiğini ve yoğunlaşma seviyesinin iyileştiğini göstermesi beklenmektedir. EDS sonuçlarının yüksek sıcaklık aralığında elementlerin daha homojen bir dağılım sergilediğine, mikrokimyasal segregasyon eğilimlerinin zayıfladığına işaret etmesi öngörülmektedir. XRD analizlerinin ise sinterleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak faz stabilitesinin pekiştiğini, kararlı katı çözelti fazlarının baskınlığının arttığını ve ikincil faz oluşumlarının sınırlandığını göstermesi muhtemeldir. Sonuç olarak, bu çalışma sinterleme sıcaklığının mikro yapısal homojenlik, faz bütünlüğü ve kimyasal stabilite üzerinde belirleyici bir işlem parametresi olduğunu ortaya koymakta; AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşımlarının üretim koşullarının optimize edilmesi için önemli bilimsel bilgiler sunmakta ve bu alaşımların endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğine yönelik yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yüksek Entropili Alaşımlar, Sinterleme Sıcaklığı, Mikro Yapı Analizi

1. GİRİŞ

Son yıllarda malzeme mühendisliği alanında geliştirilen yeni alaşım sistemleri arasında yüksek entropili alaşımlar (High Entropy Alloys, HEA'lar), sahip oldukları sıra dışı yapısal kararlılık ve mekanik performans özellikleriyle dikkat çekmektedir. Geleneksel alaşım sistemlerinde bir ana element etrafında bir veya birkaç elementin düşük oranlarda katkılандığı tasarım yaklaşımının aksine, HEA'larda beş veya daha fazla element yaklaşık eş atomik oranlarda bir araya getirilerek yüksek karışım entropisine dayalı tek fazlı katı çözeltiler elde edilir [1,2]. Bu özgün konsept, karışım entropisinin faz ayrışmasını baskılaması sayesinde termodinamik kararlılığı artırmakta ve mikroyapısal homojenliği desteklemektedir [3,4]. Yüksek entropili alaşımların temel karakteristiği olan yüksek konfigürasyonel entropi, Gibbs serbest enerjisindeki karışım entropisi (ΔS_{mix}) teriminin büyümesiyle faz kararlılığına katkı sağlar. $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ denklemi göz önüne alındığında, ΔS_{mix} 'in artışı, karışım entalpisinin (ΔH_{mix}) etkisini dengeleyerek tek fazlı katı çözeltiler oluşumuna imkân tanır [5]. Bu termodinamik denge durumu, özellikle A2 (BCC) ve FCC tipi katı çözeltiler fazlarının oluşumuna zemin hazırlar [6,7]. HEA'ların mikro yapısal evriminde, atomik boyut farkı, elektronegatiflik farklılıkları, valans elektron yoğunluğu (VEC) ve karışım entalpisini (ΔH_{mix}) gibi parametreler belirleyici rol oynar. Bu parametreler arasındaki etkileşimler, faz dönüşümlerinin ve element segregasyonlarının yönünü tayin eder [8,9]. Ayrıca Hume–Rothery kriterleri, HEA sistemlerinin katı çözeltiler kararlılığına yönelik teorik bir temel sunmaktadır. Atomik boyut farkının %6'dan küçük olması, VEC'in 8 civarında bulunması ve elektronegatiflik farkının düşük olması durumunda tek fazlı çözeltiler elde edilebilmektedir [10]. Bu bağlamda AlFeNiCoMn tabanlı yüksek entropili alaşımlar, BCC (A2) ve düzenli B2 fazlarının birlikte bulunabildiği, kimyasal olarak kompleks ancak faz açısından kararlı sistemlerdir. Özellikle Al elementi, Ni ve Co ile birlikte B2-benzeri fazların oluşumuna eğilim gösterirken; Fe ve Mn elementleri A2 veya FCC matris fazını stabilize etmektedir [11,12]. Bu faz ayrışması, malzemenin hem mekanik hem de termal özelliklerini doğrudan etkilemektedir.

HEA sistemlerinin üretiminde kullanılan mekanik alaşımlama (MA) yöntemi, yüksek enerjili bilyalı değirmenlerde tekrarlanan çarpma ve sürtünme etkileriyle toz partikülleri arasında soğuk kaynaklama, kırılma ve yeniden kaynaklama döngülerinin gerçekleşmesini sağlayan bir katı hâl işlemdir [13,14]. Bu yöntem, elementler arasında difüzyonu hızlandırarak atomik ölçekte homojen karışımlar oluşturur ve geleneksel ergitme yöntemleriyle sentezlenmesi zor olan sistemlerde dahi başarılı sonuçlar verir. Ayrıca mekanik alaşımlama süresi ve toz/bilya oranı gibi işlem parametreleri, elde edilecek tozların tane boyutu, şekli ve kristalin yapısı üzerinde doğrudan belirleyici rol oynar [15,16].

Mekanik olarak alaşımlanmış HEA tozlarının mikroyapısal gelişiminde ısıtma işlem parametreleri, özellikle de sinterleme sıcaklığı, mikro yapının kararlılığı ve faz dönüşümleri üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Sinterleme süreci, gözenek oranını azaltarak yoğunluğu artırmakta, atomik difüzyonu hızlandırarak faz homojenliğini sağlamaktadır [17,18]. Literatürde, sinterleme sıcaklığının artışıyla birlikte gözenekliliğin azaldığı, kristalit boyutunun büyüdüğü ve B2 fazının belirginleştiği bildirilmektedir [19,20]. Özellikle 950–1150 °C aralığında yapılan ısıtma işlemleri, Al–Ni–Co zengin B2 adacıkları ile Fe–Mn zengin A2 matris fazının ayrışmasına ve böylece düzenli iki fazlı mikro yapının oluşmasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada, AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım tozlarının ısıtılma işlem parametrelerinin mikroyapısal iyileşme üzerindeki etkileri sistematik olarak araştırılmıştır. 15 saat süren mekanik alaşımlama işleminin ardından, numuneler 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C sıcaklıklarında sinterlenmiş; mikroyapısal evrim taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) analizleriyle incelenmiştir. Bulgular, artan sinterleme sıcaklığının gözenek oranını düşürdüğünü, tane büyümesini hızlandığını ve fazların kimyasal olarak daha net biçimde ayrışmasına neden olduğunu göstermektedir. Bu durum, AlFeNiCoMn sisteminde ısıtılma işlem–mikroyapı–özellik ilişkisini açıklamak açısından önemli bir temel oluşturmaktadır. Bu çalışma, HEA’ların üretim süreçlerindeki ısıtılma işlem optimizasyonunun, mikroyapısal homojenlik, faz kararlılığı ve mekanik dayanım üzerindeki etkisini deneysel olarak ortaya koyarak, bu malzeme sınıfının endüstriyel uygulamalara uyarlanabilirliği konusunda literatüre katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

Bu çalışmada, AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım (HEA) tozlarının mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla eş atomik oranlarda (%20 her bir element) Al, Fe, Ni, Co ve Mn elementleri kullanılmıştır. Tüm elementler %99’un üzerinde saflıkta olup, partikül boyutları mikron aralığında ticari metal tozu formunda temin edilmiştir. Alaşım tasarımı her bir elementin atomik oranı titizlikle tartılarak hazırlanmış ve homojen karışımın sağlanması amacıyla mekanik alaşımlama (MA) yöntemi tercih edilmiştir. Mekanik alaşımlama işlemleri Retsch PM 200 tipi yüksek enerjili planet bilyalı değirmende gerçekleştirilmiştir. İşlem, tungsten karbür (WC) pota ve 10 mm çapında WC bilyalar kullanılarak, 1:5 toz/bilya oranında, 300 rpm dönme hızında ve 15 saat süreyle yapılmıştır. Aşırı soğuk kaynaklanma ve toz aglomerasyonunu önlemek için %0,5 oranında metanol işlem kontrol ajanı (Process Control Agent, PCA) olarak eklenmiştir. Mekanik alaşımlama süresince gerçekleşen sürekli çarpma, deformasyon ve difüzyon döngüleri sonucunda atomik ölçekte karışım sağlanmış, böylece yüksek entropili tek fazlı toz yapısının oluşumu hedeflenmiştir.

Alaşımlama işlemi sonrası elde edilen HEA tozları, Elazığ ÇELMAK firmasında gerçekleştirilen doğrudan dirençli sıcak presleme (Direct Current Sintering) yöntemi ile yoğunlaştırılmıştır. Bu yöntemde, toz kompaktlar hem elektrik akımıyla doğrudan ısıtılmış hem de aynı anda basınç altında tutularak sinterleme süresi önemli ölçüde kısaltılmıştır. İşlemler, 950 °C, 1050 °C ve 1150 °C sıcaklıklarında, her biri için 4 dakika süreyle ve vakum atmosferinde yürütülmüştür. Dirençli sıcak presleme yöntemi sayesinde atomik difüzyon hızlandırılmış, porozite azalırken densifikasyon oranı artmış ve homojen mikroyapı oluşumu desteklenmiştir. Sinterleme işlemlerinin ardından numuneler fırın içerisinde kontrollü biçimde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur.

Sinterleme sonrası numuneler, mikroyapısal incelemeler için metalografik hazırlama aşamalarından geçirilmiş; zımparalama, elmas süspansiyon ile parlatma ve etching işlemlerinin ardından analiz edilmiştir. Mikroyapı morfolojisi, gözeneklilik durumu ve tane büyüklüğü dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş; fazlar arası kimyasal ayrışma davranışı enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) ile detaylı olarak değerlendirilmiştir. Faz oluşumları ve kristalografik yapı değişimleri ise Cu K α (λ = 1,5406 Å) radyasyonu

kullanılan X-ışını difraksiyonu (XRD) yöntemiyle belirlenmiştir. Ölçümler, 2θ aralığı 35° – 85° , tarama hızı $0,01^{\circ}/s$ olacak şekilde yapılmıştır.

Elde edilen veriler, sinterleme sıcaklığının artışıyla birlikte gözenekliliğin azaldığını, atomik difüzyonun hızlandığını, kristalit boyutunun büyüdüğünü ve Al–Ni–Co zengin B2 fazı ile Fe–Mn zengin A2 matris fazı arasında kimyasal ayrışmanın belirginleştiğini göstermektedir. Böylece mekanik alaşımlama ve doğrudan dirençli sıcak presleme süreçlerinin, AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşımlarında mikroyapısal iyileşme ve faz kararlılığı üzerinde kritik birer işlem parametresi olduğu ortaya konulmuştur. Çizelge 1’de AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım tozlarının üretim ve sinterleme parametreleri verilmektedir.

Çizelge 1. AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım tozlarının üretim ve sinterleme parametreleri

İşlem Basamağı	Parametre	Değer / Koşul	Açıklama
Mekanik alaşımlama	Ekipman	Retsch PM 200, planet bilyalı değirmen	WC pota ve 10 mm WC bilyalar
	Süre / Hız	15 saat / 300 rpm	Homojen karışım ve atomik difüzyon sağlanmıştır
	Toz / Bilya oranı	1:5	Enerji transferini optimize etmek için
Dirençli sıcak presleme	PCA	%0,5 metanol	Yapışmayı önleyici ajan
	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	950 – 1050 – 1150	Farklı sıcaklıklarda yoğunlaşma incelenmiştir
	Süre	4 dakika	Her sıcaklıkta sabit bekletme süresi
Karakterizasyon	Atmosfer	Vakum / Ar	Oksitlenmeyi önlemek için
	SEM–EDS–XRD	Mikro yapı ve faz analizi	ÇELMAK firmasında sinterlenen numunelere uygulanmıştır

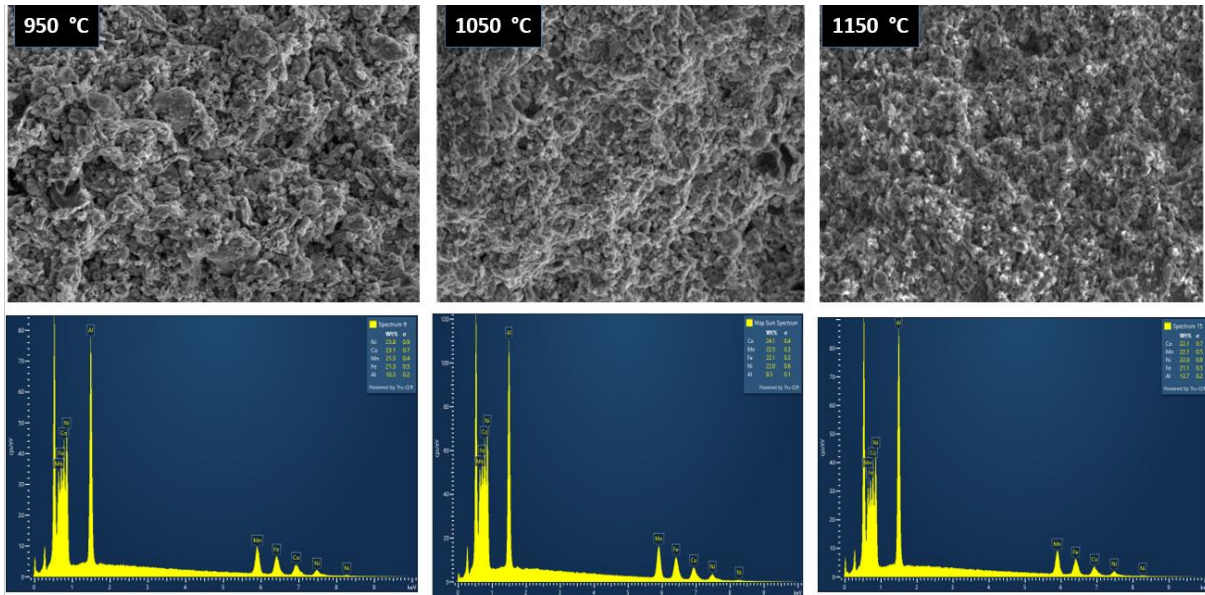
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Görsel 1’de verilen SEM ve EDS sonuçları, farklı sıcaklıklarda doğrudan dirençli sıcak presleme işlemiyle yoğunlaştırılan AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşımların mikroyapısal evrimini göstermektedir. Görüntülerden, sinterleme sıcaklığının artışıyla birlikte belirgin bir yoğunlaşma ve tane koarsenmesi eğilimi gözlenmiştir. $950^{\circ}C$ ’de işlenen numunelerde yüksek oranda porozite ve ince taneli morfoloji hâkimken, $1050^{\circ}C$ ve özellikle $1150^{\circ}C$ sıcaklıklarında gözeneklerin azaldığı, taneler arası sınırların belirginleştiği ve boyun oluşumunun tamamlandığı görülmektedir. Bu durum, artan sıcaklıkla birlikte atomik difüzyonun hızlanmasına bağlı olarak sinterleme kinetiğinin etkinleştiğini göstermektedir [21].

Mikroyapısal değişimlerin temel nedeni, sıcaklık artışıyla aktif difüzyon mekanizmalarının (özellikle yüzey ve tane sınırı difüzyonunun) baskın hale gelmesidir. Bu süreç, partiküller arasında boyun oluşumunu destekleyerek gözenek hacmini azaltır ve yoğunluğu artırır [22]. Aynı zamanda, dirençli sıcak presleme yöntemi sırasında elektrik akımının doğrudan tozlara iletilmesiyle Joule ısınması meydana gelir; bu da atom hareketliliğini artırarak plazma-benzeri yerel ergime bölgeleri oluşturabilir [23]. Bu mekanizma, kısa sürede yüksek yoğunlukta ve homojen faz yapılarının oluşmasına katkı sağlamaktadır.

EDS analizleri incelendiğinde, düşük sıcaklıklarda Al–Ni–Co elementlerinin belirli bölgelerde zenginleştiği, Fe–Mn elementlerinin ise matris fazında yoğunlaştığı görülmüştür. Bu mikrokimyasal ayrışma, yüksek entropili sistemlerde sıklıkla rapor edilen entropi kontrollü faz ayrışma mekanizması ile açıklanabilir [24]. Artan sıcaklıkla birlikte elementler arası difüzyon etkinliği yükselmiş, özellikle 1150 °C’deki numunelerde elementel dağılımın homojenleştiği gözlemlenmiştir. Bu, Gibbs serbest enerjisinin minimuma ulaşmasıyla kimyasal dengenin sağlandığı, tek faz benzeri homojen bir mikroyapı evrimine işaret etmektedir.

Sonuç olarak, SEM-EDS verileri, ısıtılma sıcaklığının AlFeNiCoMn HEA sisteminde hem yoğunluk artışı hem de kimyasal homojenleşme üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu bulgular, HEA sistemlerinde termodinamik olarak kararlı çift fazlı (A2 + B2) yapının, uygun sıcaklıkta kısa süreli sinterleme ile elde edilebileceğini ortaya koymaktadır.



Görsel 1. Farklı sıcaklıklarda dirençli sıcak presleme ile sinterlenen AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım numunelerine ait SEM mikrografları ve EDS elementel haritaları

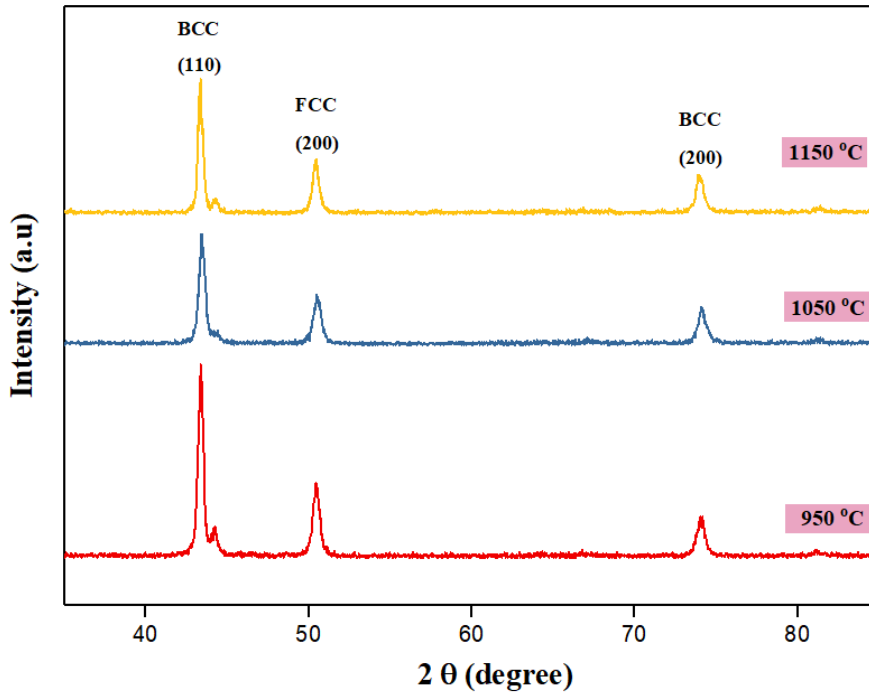
Görsel 2’de verilen X-ışını difraksiyonu (XRD) sonuçları, sinterleme sıcaklığının AlFeNiCoMn HEA’nın faz kararlılığı üzerindeki etkisini göstermektedir. 950 °C’de sinterlenen numunelerde gözlenen geniş ve düşük yoğunluklu pikler, nanokristalin yapı ve yüksek iç gerilme varlığının göstergesidir. Bu aşamada belirgin olarak A2 (BCC) tipi katı çözelti fazına ait pikler tespit edilmiştir.

Sıcaklık 1050 °C’ye yükseltildiğinde, Al–Ni–Co zengin bölgelerde B2 düzenli fazına ait (100) düzlemi piki belirginleşmiş ve A2 piklerinin yanında yeni faz yansımaları ortaya çıkmıştır. Bu

durum, artan sıcaklıkla birlikte kısmi faz düzenlenmesinin başladığını göstermektedir. B2 fazı, A2 fazından daha yüksek entalpili bir düzene sahiptir, ancak yüksek sıcaklıklarda $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ ilişkisi gereği entropik kararlılık sağlanır [4,25]. Bu nedenle, sinterleme sıcaklığının yükselmesiyle kararlı B2 fazı oluşumu termodinamik olarak desteklenmiştir.

1150 °C’de sinterlenen numunede, B2 fazına ait piklerin hem şiddet hem de netliği artmış; A2 fazı ise daha az belirgin hale gelmiştir. Pik genişliklerinin daralması, kristalit boyutunun büyüdüğünü ve iç gerilmelerin azaldığını göstermektedir. Bu davranış, artan sıcaklıkla birlikte rekristalizasyonun tamamlandığını ve sistemin denge fazına ulaştığını göstermektedir [26]. Ayrıca yüksek sıcaklıkta artan atomik hareketlilik, Al–Ni–Co zengin bölgelerin düzenli faza dönüşümünü kolaylaştırmıştır.

Bu bulgular, AlFeNiCoMn sisteminin ısıtma işlemi–faz kararlılığı–mikroyapı ilişkisini açık biçimde ortaya koymaktadır. Dirençli sıcak presleme yöntemiyle yalnızca 4 dakikalık işlem süresi sonunda bile faz kararlılığının sağlanması, bu yöntemin hızlı difüzyon ve homojen yoğunlaşma açısından son derece etkili olduğunu göstermektedir.



Görsel 2. Farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen AlFeNiCoMn HEA numunelerine ait X-ışını difraksiyonu (XRD) desenleri.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, AlFeNiCoMn yüksek entropili alaşım tozları doğrudan dirençli sıcak presleme yöntemiyle farklı sıcaklıklarda sinterlenmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Dirençli sıcak presleme yöntemiyle kısa sürede (4 dk) yüksek yoğunlukta ve homojen numuneler elde edilmiştir. Sinterleme sıcaklığı arttıkça gözeneklilik azalmış, tane büyümesi belirginleşmiş ve yoğunlaşma oranı artmıştır.
- SEM analizleri, düşük sıcaklıklarda (950 °C) gözenekli yapı, yüksek sıcaklıklarda (1150 °C) ise tam boyun oluşumuna sahip yoğun mikroyapı göstermiştir.

- EDS haritaları, artan sıcaklıkla birlikte elementel homojenliğin arttığını ve segregasyonun azaldığını ortaya koymuştur.
- XRD sonuçları, 950 °C’de A2 (BCC) fazının hâkim olduğunu, 1050 °C’de B2 fazının ortaya çıktığını ve 1150 °C’de kararlı B2 + A2 çift fazlı yapı oluştuğunu göstermiştir.
- Artan sıcaklıkla birlikte kristal kusurları azalmış, pik genişlikleri daralmış ve kristalit boyutu büyümüştür.
- Yüksek sıcaklıkta işlem gören numunelerde faz kararlılığı ve mikroyapısal bütünlük sağlanmıştır.
- Dirençli sıcak presleme yöntemi, yüksek entropili alaşımların üretiminde enerji verimli ve zaman açısından avantajlı bir alternatif yöntem olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Yeh, J. W., Chen, S. K., Lin, S. J., Gan, J. Y., Chin, T. S., Shun, T. T., ... & Chang, S. Y. (2004). Nanostructured high-entropy alloys with multiple principal elements: novel alloy design concepts and outcomes. *Advanced engineering materials*, 6(5), 299-303. <https://doi.org/10.1002/adem.200300567>
- [2] Cantor, B., Chang, I. T., Knight, P., & Vincent, A. J. B. (2004). Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 375, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257>
- [3] Zhang, Y., Zuo, T. T., Tang, Z., Gao, M. C., Dahmen, K. A., Liaw, P. K., & Lu, Z. P. (2014). Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Progress in materials science*, 61, 1-93. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>
- [4] Miracle, D. B., & Senkov, O. N. (2017). A critical review of high entropy alloys and related concepts. *Acta materialia*, 122, 448-511. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2016.08.081>
- [5] Tasan, C. C., Deng, Y., Pradeep, K. G., Yao, M. J., Springer, H., & Raabe, D. (2014). Composition dependence of phase stability, deformation mechanisms, and mechanical properties of the CoCrFeMnNi high-entropy alloy system. *Jom*, 66(10), 1993-2001. <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1133-6>
- [6] Gao, M. C., & Qiao, J. (2018). High-entropy alloys (HEAs). *Metals*, 8(2), 108. <https://doi.org/10.3390/met8020108>
- [7] Pickering, E. J., & Jones, N. G. (2016). High-entropy alloys: a critical assessment of their founding principles and future prospects. *International Materials Reviews*, 61(3), 183-202. <https://doi.org/10.1080/09506608.2016.1180020>

- [8] Guo, S., Ng, C., Lu, J., & Liu, C. T. (2011). Effect of valence electron concentration on stability of fcc or bcc phase in high entropy alloys. *Journal of applied physics*, 109(10). <https://doi.org/10.1063/1.3587228>
- [9] Ye, Y. F., Wang, Q., Lu, J., Liu, C. T., & Yang, Y. J. M. T. (2016). High-entropy alloy: challenges and prospects. *Materials Today*, 19(6), 349-362. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.11.026>
- [10] Otto, F., Dlouhý, A., Somsen, C., Bei, H., Eggeler, G., & George, E. P. (2013). The influences of temperature and microstructure on the tensile properties of a CoCrFeMnNi high-entropy alloy. *Acta Materialia*, 61(15), 5743-5755. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2013.06.018>
- [11] Shao, Y. (2021). Structure and mechanical properties of multicomponent AlNiCoFeCrTiMo alloy obtained by mechanical alloying and sintering.
- [12] Onawale, O. T., Cobbinah, P. V., Nzeukou, R. A., & Matizamhuka, W. R. (2021). Synthesis route, microstructural evolution, and mechanical property relationship of high-entropy alloys (HEAs): A review. *Materials*, 14(11), 3065. <https://doi.org/10.3390/ma14113065>
- [13] Suryanarayana, C. (2001). Mechanical alloying and milling. *Progress in materials science*, 46(1-2), 1-184. [https://doi.org/10.1016/S0079-6425\(99\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6425(99)00010-9)
- [14] Benjamin, J. S. (1970). Dispersion strengthened superalloys by mechanical alloying. *Metallurgical transactions*, 1(10), 2943-2951. <https://doi.org/10.1007/BF03037835>
- [15] Zaara, K., Chemingui, M., Le Gallet, S., Gaillard, Y., Escoda, L., Saurina, J., ... & Optasanu, V. (2020). High-Entropy FeCoNiB_{0.5}Si_{0.5} alloy synthesized by mechanical alloying and spark plasma sintering. *Crystals*, 10(10), 929. <https://doi.org/10.3390/cryst10100929>
- [16] Ben Ammar, C., Khitouni, N., Alshammari, M., Alsawi, A., Khitouni, M., Suñol, J. J., & Chemingui, M. (2024). Microstructural and magnetic characteristics of high-entropy FeCoNiMnTi alloy produced via mechanical alloying. *Metals*, 14(11), 1302. <https://doi.org/10.3390/met14111302>
- [17] Hsu, W. C., Kao, W. P., Yeh, J. W., & Tsai, C. W. (2022). Effect of Mo on the mechanical and corrosion behaviors in non-equal molar AlCrFeMnNi BCC high-entropy alloys. *Materials*, 15(3), 751. <https://doi.org/10.3390/ma15030751>

- [18] Youssef, K. M., Zaddach, A. J., Niu, C., Irving, D. L., & Koch, C. C. (2015). A novel low-density, high-hardness, high-entropy alloy with close-packed single-phase nanocrystalline structures. *Materials Research Letters*, 3(2), 95-99. <http://dx.doi.org/10.1080/21663831.2014.985855>
- [19] Huang, L., Li, S., Li, K., Lu, S. Y., & Li, J. Improvement of Corrosion Resistance for Laser Melting Deposited CoCrFeNi-Series High-Entropy Alloys by Al Addition. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4457473>
- [20] Tsai, M. H., & Yeh, J. W. (2014). High-entropy alloys: a critical review. *Materials Research Letters*, 2(3), 107-123. <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.912690>
- [21] Kang, S. J. L. (2004). *Sintering: densification, grain growth and microstructure*. Elsevier.
- [22] German, R. M. (1996). *Sintering theory and practice*, John Wiley & Sons. Inc., New York.
- [23] Munir, Z. A., Anselmi-Tamburini, U., & Ohyanagi, M. (2006). The effect of electric field and pressure on the synthesis and consolidation of materials: A review of the spark plasma sintering method. *Journal of materials science*, 41(3), 763-777. <https://doi.org/10.1007/s10853-006-6555-2>
- [24] Munitz, A., Salhov, S., Hayun, S., & Frage, N. (2016). Heat treatment impacts the micro-structure and mechanical properties of AlCoCrFeNi high entropy alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 683, 221-230. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.05.034>
- [25] Sheng, G. U. O., & Liu, C. T. (2011). Phase stability in high entropy alloys: Formation of solid-solution phase or amorphous phase. *Progress in Natural Science: Materials International*, 21(6), 433-446. [https://doi.org/10.1016/S1002-0071\(12\)60080-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0071(12)60080-X)
- [26] Senkov, O. N., Wilks, G. B., Scott, J. M., & Miracle, D. B. (2011). Mechanical properties of Nb₂₅Mo₂₅Ta₂₅W₂₅ and V₂₀Nb₂₀Mo₂₀Ta₂₀W₂₀ refractory high entropy alloys. *Intermetallics*, 19(5), 698-706. <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2011.01.004>

ZERCONID MITES (ACARI: ZERCONIDAE) RECORDED FROM THE CENTRAL ANATOLIA REGION OF TÜRKİYE

Assoc. Prof. Dr. MEHMET KARACA ¹, Prof. Dr. RAŞİT URHAN ²

¹ Pamukkale University, Denizli Vocational School of Technical Sciences,

karacamehmet@pau.edu.tr - 0000-0002-3249-4215

² Pamukkale University, Faculty of Science, rurhan@pau.edu.tr - 0000-0002-6548-7927

ABSTRACT

The mite fauna of Türkiye comprises approximately 1250 taxa belonging to the orders Ixodida, Mesostigmata, Sarcoptiformes, and Trombidiformes. Among them, members of the family Zerconidae, commonly referred to as zerconids, represent one of the best-known groups within the order Mesostigmata in the country. Systematic and taxonomic investigations on zerconids have been carried out across various parts of Türkiye, including provincial, regional, and protected areas. However, given the country's vast geographical extent, many areas remain insufficiently studied. The present study provides a comprehensive review of all zerconid mite species recorded from the Central Anatolia Region. A survey of the literature revealed six previously documented zerconid species from the region, all belonging to the genus *Zercon*. Three of these species are endemic to Türkiye. The type specimens of *Zercon insperatus* were collected from the Kızılcahamam district of Ankara Province. Furthermore, an examination of biological materials collected between 1999 and 2007 from Ankara, Eskişehir, Kayseri, and Yozgat provinces resulted in the identification of five additional *Zercon* that had not been previously recorded from the region. Nevertheless, this total number likely underestimates the rich diversity of the family in the region. Long-term and comprehensive faunistic studies are required across all provinces. Notably, there are still no zerconid records from Aksaray, Çankırı, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, and Sivas provinces. This study compiles and summarizes all available distributional data for zerconid species reported from the region, both within Türkiye and globally. It aims to contribute to the understanding of the region's biodiversity and to the overall knowledge of the Turkish acarofauna.

Key Words: biodiversity, acarofauna, Mesostigmata, Türkiye.

1. INTRODUCTION

The mite fauna of Türkiye comprises approximately 1,250 taxa classified under the orders Ixodida, Mesostigmata, Sarcoptiformes, and Trombidiformes (Erman et al., 2024). Among them, the order Mesostigmata represents a diverse and ecologically significant group within the subclass Acari. Members of this order are commonly found in soil, leaf litter, humus, animal nests, and various microhabitats. Most species are predatory, feeding on nematodes, small arthropods, and other microorganisms, thereby contributing to the maintenance of ecosystem balance. In addition, some mesostigmatid mites exhibit parasitic lifestyles and possess considerable economic importance in agricultural and veterinary contexts. Due to their wide diversity and ecological roles, Mesostigmata constitute an important subject of study in mite systematics and taxonomy.

Members of the family Zerconidae, commonly referred to as zerconids, represent one of the well-recognized groups within the order Mesostigmata in Türkiye. Systematic and taxonomic investigations on zerconids have been carried out across various regions of the country - including provincial, regional, and protected areas - and to date, approximately 140 species have been recorded from Türkiye. Zerconids are notable for their high level of endemism in Türkiye (Karaca and Urhan, 2024).

The Central Anatolia Region, one of the seven geographical regions of Türkiye, is the second largest in terms of area, covering approximately 151,000 km². Located in the central part of the country, it comprises 13 provinces (Figure 1) and it is bordered by all regions of Türkiye except the Southeastern Anatolia Region. The region is predominantly characterized by extensive plateaus, steppe landscapes, and volcanic mountains, with Mount Erciyes, Mount Hasan, and Mount Melendiz being the most prominent elevations. Lake Tuz, Lake Seyfe, and Lake Meke represent the major wetland areas of the region. The continental climate prevails throughout Central Anatolia, featuring hot and dry summers and cold, snowy winters. The natural vegetation mainly consists of steppe formations, dominated by species such as *Astragalus*, *Artemisia*, and *Verbascum*. Prominent protected areas in the region include Bozdağ, Göreme, Sultan Marshes, Soğuksu, Aladağlar, Tuz Lake, Yıldız Mountain, and Yozgat Pine Grove National Parks (Url-1).

This study provides a short list of all zerconid species recorded from the Central Anatolia Region of Türkiye to date. In addition to literature, previously unrecorded distribution data for some zerconid species from several provinces is also provided. The present study aims to

contribute to the understanding of both the biodiversity of the Central Anatolia Region and the overall acarofauna of Türkiye.

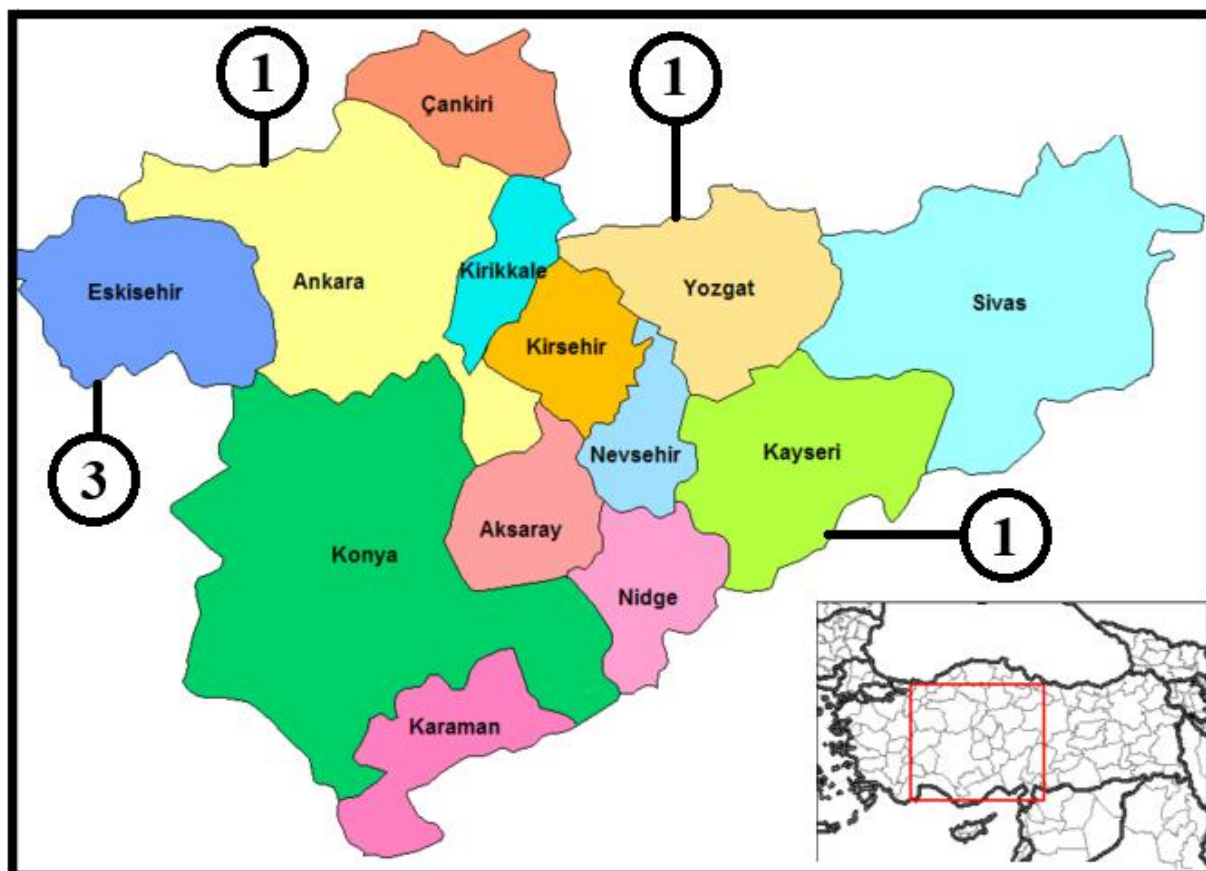


Figure 1. Map of the Central Anatolia Region (not to scale, Url-2) and the number of species of zerconids recorded from the provinces

2. MATERIALS AND METHODS

In order to compile a short list of zerconid mites recorded from the Central Anatolia Region of Türkiye, various sources from the literature were examined. Distribution records from all provinces within the region (Figure 1) were reviewed, and species belonging to the family Zerconidae were listed alphabetically in this section. In addition to the literature data, zerconid mite species collected during field surveys conducted between 1999 and 2007 years in the provinces of Ankara, Eskişehir, Kayseri, and Yozgat are also presented.

3. RESULTS

3.1. Literature Records

Based on data from the literature, biological material collected from various localities across different provinces of the Central Anatolia Region between 1979 and 2017 revealed the presence of seven zerconid species belonging to a single genus (Table 1). All of the mentioned

species are members of the genus *Zercon*. In this section, all zerconid mites reported from the region are presented alphabetically, and their distributions in Türkiye and worldwide are also provided.

Table 1. List of zerconid mites recorded from the Central Anatolia Region (L: literature records, F: field surveys=species newly recorded from the region in this study).

Species / Provinces	Aksaray*	Ankara ^[3]	Çankırı*	Eskişehir ^[4,5]	Karaman*	Kayseri ^[1]	Kırıkkale*	Kırşehir*	Konya*	Nevşehir*	Niğde*	Sivas*	Yozgat ^[2]
<i>Z. agnostus</i>													L/F
<i>Z. cokelezicus</i>				L									
<i>Z. colligans</i>				L/F		F							
<i>Z. denizliensis</i>				L									
<i>Z. encarpatus</i>						L							
<i>Z. ignobilis</i>		F											
<i>Z. inonunensis</i>				L/F									
<i>Z. insperatus</i>		L											
<i>Z. ozkani</i>		F											
<i>Z. peltatus</i>		F											
<i>Z. turcicus</i>													F
TOTAL	-	4	-	4	-	2	-	-	-	-	-	-	2

* There are no records yet of zerconid mites from Aksaray, Çankırı, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde and Sivas provinces. Abbreviations for references [1]: Urhan et al., 2003; [2]: Urhan et al., 2007; [3]: Błaszak, 1979; [4]: Urhan, 2007; [5]: Karaca and Urhan, 2017.

Family: Zerconidae G. Canestrini, 1891

Genus: *Zercon* C. L. Koch, 1836

Type species: *Zercon triangularis* C. L. Koch, 1836

For detailed diagnosis of the genus, see Urhan and Karaca, 2023.

3.1.1. *Z. agnostus* Błaszak, 1979

Turkish records: Adana, Amasya, Çorum, Giresun, Hatay, Mersin, Yozgat (Karaca and Urhan, 2024).

Known distribution: Iran, Türkiye (Karaca and Urhan, 2024).

3.1.2. *Z. cokelezicus* Urhan, 2009

Turkish records: Afyonkarahisar, Antalya, Denizli, Eskişehir, Kütahya, Manisa, Uşak (Karaca and Urhan, 2024).

Known distribution: Türkiye (Karaca and Urhan, 2024).

3.1.3. *Z. colligans* Berlese, 1920

Turkish records: Afyonkarahisar, Amasya, Antalya, Artvin, Aydın, Balıkesir, Çanakkale, Denizli, Edirne, Erzincan, Erzurum, Eskişehir, Giresun, Hatay, Isparta, İstanbul, İzmir, Kırklareli, Kütahya, Manisa, Mersin, Muğla, Sinop, Tekirdağ, Uşak (Karaca and Urhan, 2024), Kayseri (present study).

Known distribution: France, Iran, Italy, Russia, Sweden, Switzerland, Turkey (Karaca and Urhan, 2024).

3.1.4. *Z. denizliensis* Urhan, 2011

Turkish records: Afyonkarahisar, Aydın, Denizli, Eskişehir, Giresun, İzmir, Kütahya, Manisa (Urhan, 2024).

Known distribution: Türkiye (Urhan, 2024).

3.1.5. *Z. encarpatus* Athias-Henriot, 1961

Turkish records: Kayseri (Urhan et al., 2003).

Known distribution: Algeria, Russia, Türkiye (Urhan et al., 2003).

3.1.6. *Z. ignobilis* Błaszak, 1979

Turkish records: Bolu, İzmir, Manisa (Urhan and Karaca, 2023), Ankara (present study).

Known distribution: Türkiye (Błaszak, 1979).

3.1.7. *Z. inonunensis* Urhan, 2007

Turkish records: Afyonkarahisar, Eskişehir, İstanbul, Kütahya, Manisa (Urhan and Karaca, 2022).

Known distribution: Türkiye (Urhan and Karaca, 2022).

3.1.8. *Z. insperatus* Błaszak, 1979

Turkish records: Ankara (Błaszak, 1979).

Known distribution: Türkiye (Błaszak, 1979).

3.1.9. *Z. ozkani* Urhan & Ayyıldız, 1994

Turkish records: Artvin, Erzurum, Giresun (Mohammad-Doustaresharaf et al., 2023), Ankara (present study).

Known distribution: Iran, Türkiye (Karaca et al., 2017; Kavianpour et al., 2018; Mohammad-Doustaresharaf et al., 2023).

3.1.10. *Z. peltatus* C. L. Koch, 1836

Turkish records: Bolu, Denizli (Urhan, 2024), Ankara (present study).

Known distribution: Austria, Bulgaria, Czechia, England, Germany, Hungary, Poland, Romania, Slovakia, Spain, Turkey, Ukraine (Urhan, 2024).

3.1.11. *Z. turcicus* Urhan & Ayyıldız, 1994

Turkish records: Afyonkarahisar, Aydın, Denizli, Erzurum, Kırklareli, Muğla (Urhan and Karaca, 2024), Yozgat (present study).

Known distribution: Iran, Türkiye (Urhan and Karaca, 2024).

3.2. New Materials Recorded from the Region

Seven zerconid mite species were identified in biological materials collected from different localities in Ankara, Eskişehir, Kayseri and Yozgat provinces (Figure 2) between 1999 and 2007 years (Table 2).

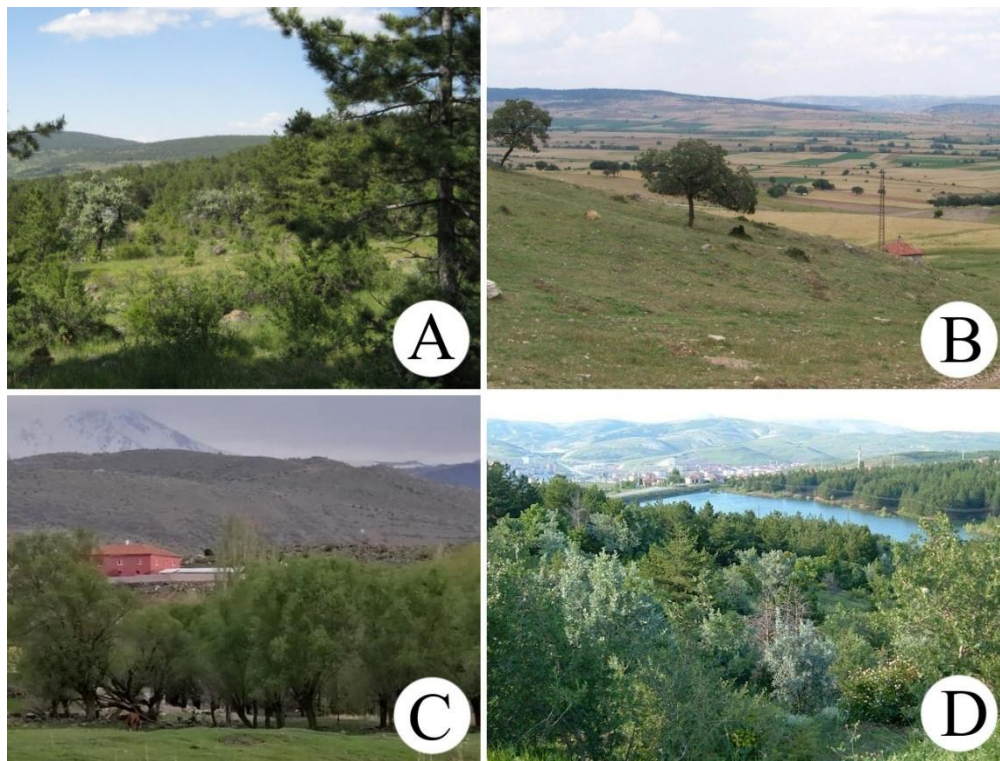


Figure 2. Collection sites of the newly reported zerconids from the region (A: Çamlıdere Plateau, Çamlıdere, Ankara [Url-3], B: İnönü, Eskişehir [Url-4], C: Hürmetci Neighbourhood, Hacılar, Kayseri [Url-5], D: Yozgat Pine Grove National Park, Centre, Yozgat [Url-6]).

Table 2. New Zerconidae materials from the region presented in this study (Abbreviations = m: meter, N: north, E: east, ♀: female, ♂: male, DN: deutonymph, PN: protonymph).

Date	Coordinates	Altitude (m)	Habitat	Locality	Species / Number of specimens
18.04.1999	40°29.045' N 32°31.363' E	1412	<i>Pinus nigra</i>	vicinity of Çamlıdere Plateau, Çamlıdere, Ankara	<i>Z. ozkani</i> : 1♂ <i>Z. peltatus</i> : 2♀, 1DN, 2PN
30.04.2000	40°28.502' N 32°31.120' E	1430	<i>Pinus nigra</i>	vicinity of Çamlıdere Plateau, Çamlıdere, Ankara	<i>Z. ignobilis</i> : 1♂, 2DN
13.04.2007	39°48.424' N 30°9.536' E	1017	<i>Quercus</i> sp. moss (unspecified)	vicinity of THK İnönü Aviation Training Center, İnönü, Eskişehir	<i>Z. colligans</i> : 47♀, 24♂, 8DN, 2PN <i>Z. inonunensis</i> : 107♀, 63♂, 18DN, 11PN
13.04.2007	38°41.960' N 35°19.302' E	1031	<i>Salix triandra</i>	Hürmetci Neighbourhood, Hacılar, Kayseri	<i>Z. colligans</i> : 23♀, 4♂, 1DN
12.05.2003	39°48.826' N 34°49.357' E	1407	<i>Pinus nigra</i>	Yozgat Pine Grove National Park, Centre, Yozgat	<i>Z. agnostus</i> : 152♀, 56♂ <i>Z. turcicus</i> : 2♀, 1♂

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the diversity of zerconid mites was investigated across 13 provinces of the Central Anatolia Region. In addition to previously published literature, data collected in earlier years from Ankara, Eskişehir, Kayseri, and Yozgat provinces - which had not yet been published - are also presented. Although all zerconid species recorded from the region are listed based on literature data and newly provided material, the findings do not represent the region's full species diversity of zerconids.

Located at the center of Türkiye and serving as a transitional zone with other regions, the Central Anatolia Region is rich in both flora and fauna. The region is dominated by steppe and continental ecosystems, hosts numerous endemic and adaptive species, and contains wetlands that enhance local biodiversity. However, to date, no comprehensive studies on zerconids have been conducted in this region.

Regarding species diversity, four zerconid species have been reported from the provinces of Ankara and Eskişehir, followed by two species each from Kayseri and Yozgat. Until now, no zerconid species have been recorded from Aksaray, Çankırı, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, Konya, Nevşehir, Niğde, and Sivas provinces.

The type localities (terra typica) of the following zerconids are in Türkiye: *Zercon agnostus*, *Z. cokelezicus*, *Z. denizliensis*, *Z. ignobilis*, *Z. inonunensis*, *Z. insperatus*, *Z. ozkani*, and *Z. turcicus*. All of them are known from the region. Among these, *Z. agnostus*, *Z. ozkani*, and *Z. turcicus* have also been recently reported from Iran (Karaca et al., 2017; Kavianpour et al.,

2018; Mohammad-Doustaresharaf et al., 2023). The remaining five species are endemic to Türkiye. Accordingly, considering that five of the 11 zerconid species reported from the Central Anatolia Region are endemic to Türkiye, the endemism rate of zerconids in this region can be interpreted at 45%. The other six species exhibit a broader distribution, extending across Europe, North Africa, and the Middle East.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the Scientific Research Projects Unit of Pamukkale University (PAÜBAP) for providing financial support for the presentation of data used in this study at various scientific events (conferences, symposiums, panels, workshops, etc.), and the General Directorate of Nature Conservation and National Parks (Republic of Türkiye, Ministry of Agriculture and Forestry) for granting the necessary permits during field surveys conducted in previous years.

REFERENCES

- Błaszak, C., Systematic studies on the family Zerconidae. IV. Asian Zerconidae (Acari, Mesostigmata). Acta Zoologica Cracoviensia, Kraków, 24 (1), 3-112, 1979.
- Erman, O., Doğan, S., Ayyıldız, N., Özkan, M., Checklist of the mites (Acari) of Türkiye. Third supplement. Acarological Studies, 6 (2), 81-111, 2024.
- Karaca, M., Urhan, R., New localities of zerconid mites from Turkey (Acari: Zerconidae). MUNIS Entomology & Zoology, 12 (1), 31-37, 2017.
- Karaca, M., Urhan, R., Zerconid mites (Acari: Zerconidae) recorded from the Mediterranean Region, Türkiye (in Turkish). Ege 12th International Conference on Applied Sciences, Proceedings Book, pp. 464-474, December 26-30, İzmir, 2024.
- Karaca, M., Ordoukhanian, C., Ahadiyat, A., Urhan, R., New occurrences of zerconid mites (Acari:Zerconidae) from Iran, with checklist and a key to the Iranian species. International Journal of Acarology, 43 (8), 603-611, 2017.
- Kavianpour, M., Karaca, M., Karimpour, Y., Urhan, R., A new species and new distribution records of *Zercon* C. L. Koch from Iran (Acari: Zerconidae). Zoology in the Middle East, 64 (4), 363-370, 2018.
- Mohammad-Doustaresharaf, M., Karaca, M., Bagheri, M., Urhan, R., A taxonomic study on the zerconid mites (Acari: Zerconidae) in northwestern Iran: descriptions of three new species with three new records. Systematic & Applied Acarology, 28 (3), 429-460, 2023.

- Urhan, R., *Zercon inonunensis* n. sp. (Acari: Zerconidae) from Turkey. *Zoology in the Middle East*, 42 (1), 117-120, 2007.
- Urhan, R., Mites of the mite family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in Denizli province. In *Comprehensive Approaches in Biology: From Molecular Targets to Ecosystem Analysis*, Beram, R. C. (Ed.), SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, pp. 107-136, 2024.
- Urhan, R., Karaca, M., Manisa ilinin zerkonid akar faunası (Acari: Mesostigmata: Zerconidae) (in Turkish). In *Manisa Akademik Araştırmalar Işığında (Fen Bilimleri & Coğrafya & İktisat)*, Abalı, Y., Minareci, O., Çam Kaynar, S., İncedere, L. (Eds.), Berikan Yayınevi, Ankara, Türkiye, pp. 208-234, 2022.
- Urhan, R., Karaca, M., Species diversity of the mite family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in İzmir province. In *Multifaceted Academic Perspective: Basic Sciences and Engineering Research*, Demirer, A. (Ed.), SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, pp. 1-26, 2023.
- Urhan, R., Karaca, M., Muğla ilinde zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae) üzerine sistematik çalışmalar (in Turkish). In *Biyoloji Bilimlerinde Yeni Güncel Konular I*, Bilgili, A. (Ed.), Bidge Yayınları, Ankara, Türkiye, pp. 62-85, 2024.
- Urhan, R., Per, S., Ayyıldız, N., Erciyes Dağından (Kayseri) Türkiye faunası için yeni bir *Zercon* (Acari, Zerconidae) türü: *Z. encarpatus* Athias-Henriot, 1961 (in Turkish). 1. National Erciyes Symposium, Proceedings Book, pp. 309-313, October 23-25, Kayseri, Türkiye, 2003.
- Urhan, R., Ayyıldız, N., Toluk, A., Koçoğlu, E., Taşdemir, A., *Zercon agnostus* Blaszkak, 1979 (Acari: Zerconidae) üzerine bir çalışma (in Turkish). *Çankaya University Journal of Arts and Sciences*, 7, 171-179, 2007.
- Url-1: https://tr.wikipedia.org/wiki/İç_Anadolu_Bölgesi (Access Date: 10.11.2025).
- Url-2: https://www.sosyalbilimciler.com/forum/media/ic_anadolu_bolgesi-png.44/ (Access Date: 10.11.2025).
- Url-3: <https://lh3.googleusercontent.com/gps-cs-s/> (Access Date: 06.11.2025).
- Url-4: <https://lh3.googleusercontent.com/gps-cs-s/> (Access Date: 06.11.2025).
- Url-5: <https://photo/?fbid=1300499746807849&set=pcb.1300501576807666> (Access Date: 06.11.2025).
- Url-6: <https://millipark.com.tr/milli-parklar/yozgat-camligi-milli-parki/> (Access Date: 06.11.2025).

FIRST FINDING OF DEUTONYMPH SPECIMENS OF *PROZERCON CELALİ* (ACARI: ZERCONIDAE)

Assoc. Prof. Dr. MEHMET KARACA ¹, Prof. Dr. RAŞİT URHAN ²

¹ Pamukkale University, Denizli Vocational School of Technical Sciences,

karacamehmet@pau.edu.tr - 0000-0002-3249-4215

² Pamukkale University, Faculty of Science, rurhan@pau.edu.tr - 0000-0002-6548-7927

ABSTRACT

Zerconids are soil-dwelling mites that predominantly prey on nematodes. As predators inhabiting moss, plant debris, and other organic materials on the forest floor, they constitute an important component of soil fauna. Members of this family are distributed in boreal and subtropical forests, with the highest species diversity observed in temperate regions. This family is represented by 139 species in Türkiye. Systematic as well as ecological studies on this group are currently ongoing in various regions of the country. These comprehensive investigations often result in the identification of new species for science, new records for the Turkish acarofauna, or the discovery of previously undescribed nymphal stages of known taxa. In the present study, several biological materials were collected from Denizli province, located in southwestern Türkiye, during April 2025. The collected materials were placed in a sorting apparatus consisting of assembled Berlese funnels and allowed to dry for 5-7 days. Subsequently, the ethanol-filled collection bottles located beneath the funnels were examined in detail under a stereomicroscope. The extracted zerconids were treated with lactic acid and glycerin for clarification prior to microscopic examination. For taxonomic identification, zerconids were studied under a light microscope at 400x magnification. Among the identified materials, three deutonymph specimens belonging to *Prozercon celali* were detected. This species is endemic to Türkiye, with a previously known distribution restricted to the Denizli and Muğla provinces. Notably, only male and female specimens of this species had been described prior to this study, hence, the deutonymphal stage is reported here for the first time. A detailed description of the deutonymph, including setal measurements and an original illustration, is provided.

Key Words: mite, Mesostigmata, Denizli, Türkiye.

1. INTRODUCTION

Mites are one of the invertebrate groups belonging to the class Arachnida within the phylum Arthropoda. They range in size from approximately 0.1 to 10 millimeters and inhabit diverse environments, including soil, organic debris, aquatic habitats, stored products, house dust, plants, and animals, where they may occur as both internal and external parasites. Mites exhibit a remarkably wide distribution - from polar regions to deserts - and display substantial variation in body structure, size, and behavior.

In the forest ecosystems, numerous small arthropods inhabit the litter layer of forest floors, the majority of which are mites. Indeed, mites constitute approximately 80% of the microarthropod community within soil fauna. Among them, soil mites represent one of the most abundant and diverse groups of invertebrates in terrestrial ecosystems, both in terms of species richness and population density. They play a crucial role in maintaining soil biological productivity by facilitating the decomposition of organic matter, contributing to humus formation, conserving essential biological elements, and stimulating fungal and bacterial metabolism (Ghilarov, 1963; Peterson and Luxton, 1982).

Zerconids (members of the family Zerconidae) are one of the well-known groups of mesostigmatid mites in the Holarctic region. Turkish Zerconidae fauna include two genus (*Prozercon* and *Zercon*) and 139 species (Karaca, 2025). *Prozercon* spp. are zerconids that are generally smaller in size compared to those of the *Zercon* spp. In Türkiye, their distribution is more common in coastal regions characterized by a temperate climate, rather than in the inland areas where a continental climate prevails. Among them, *Prozercon celali* was described as a new species in 2010 from Honaz Mountain National Park, located in Denizli Province, Türkiye (Urhan, 2010). The species name is dedicated to Prof. Dr. Celal Şimşek (Pamukkale University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Archaeology). Previously, only female and male specimens of this species were known from the type locality. However, no nymphal stages had been reported until now. In the present study, deutonymphal specimens of *P. celali* were discovered, described, and illustrated for the first time.

2. MATERIALS AND METHODS

The main material of this study is litter and moss samples collected from various habitats of Gökpınar Neighbourhood, (Pamukkale county-Denizli province) (Figure 1) at April 14, 2025. Standard methods commonly employed for the collection of biological materials in the study area, their transfer to the laboratory, the extraction of soil mites, and the identification of

zerconids were applied (Karaca, 2025). Idiosomal measurements were taken as micrometer, and Sikora (2014) terminology was used for the identification. Details of the localities where materials of *P. celali* were collected are presented below.

1st locality: April 14, 2025, 37° 46.915' N, 29° 7.898' D, 345 m, vicinity of Vali Recep Yazıcıoğlu Dam Lake, Pamukkale county, Denizli province, soil and litter samples under Oriental plane (*Platanus orientalis*).

2nd locality: April 14, 2025, same locality, soil and litter samples under Turkish pine (*Pinus brutia*) and kermes oak (*Quercus coccifera*).

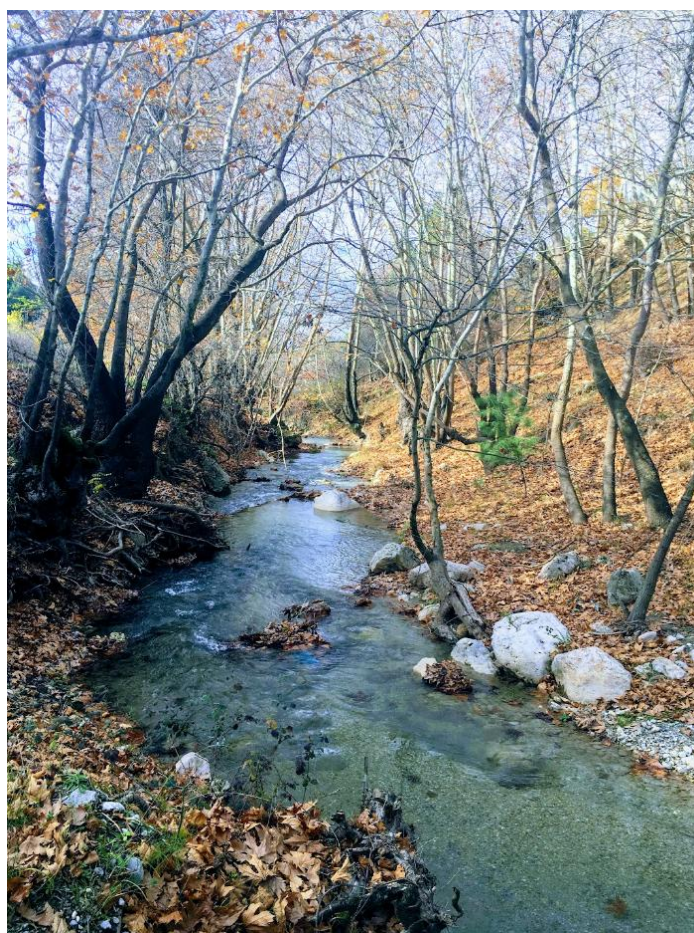


Figure 1. General view of habitat

3. RESULTS

A total of 3 deutonymph specimens of *P. celali* were found in the research area, two specimens from the first locality and one specimen from the second locality. In this section, the idiosomal lengths, short descriptions, lengths of the opisthonotal setae and the distances between them



(presented as averages) are provided for the identified deutonymphs. Additionally, an idiosomal drawing of deutonymph specimen is also presented.

Family: Zerconidae G. Canestrini, 1891

Genus: *Prozercon* Sellnick, 1943

Type species: *Zercon fimbriatus* C. L. Koch, 1839

For detailed diagnosis of the genus, see Urhan and Karaca, 2023.

Prozercon celali Urhan 2010 (Figure 2)

Deutonymph (n=3)

Idiosomal measurements: Ranges of lengths and widths of idiosoma 268-305 micrometers and 208-215 micrometers, respectively.

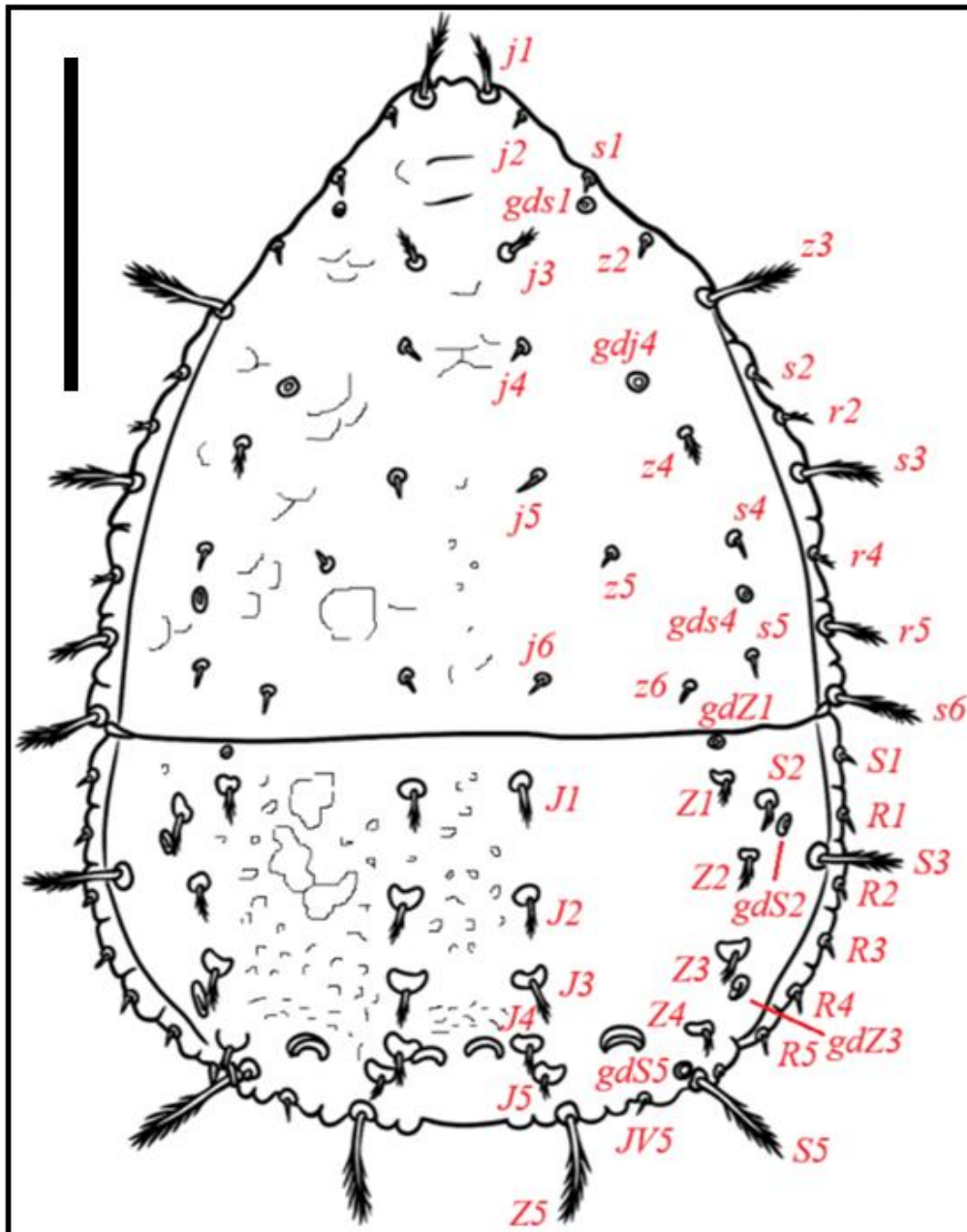


Figure 2. Idiosomal view of deutonymph specimen of *P. celali* (scale bar: 100 micrometers)

Short description: On podonotum, setae *j1*, *j3*, *z3-z4*, *s3*, *s6*, *r2* and *r4-r5* finely barbed or plumose, all remaining podonotal setae (*j2*, *j4-j6*, *z2*, *z5-z6*, *s1-s2* and *s4-s5*) smooth and needle-like. Gland pore *gds1* located between *j4* and *s1*, closer to *s1*, gland pore *gdj4* located between *j3* and *z4*, closer to *z4*, gland pore *gds4* located between *s4* and *s5*. Podonotal shields nebulous, mainly smooth. On opisthonotum, all setae finely barbed or plumose, except marginal setae (*S1* and *R1-R5*). All marginal setae smooth and needle-like. Only seta *J4* reaching the following's bases on opisthonotum. Setae *Z5*, *S3* and *S5* reaching beyond of opisthonotum. Seta *S4* absent. The range between *Z5-Z5* 42-48 and *Z5-JV5* 13-16, respectively. Gland pore *gdZ1* located above the base of *Z1*, gland pore *gdS2* located between *S2* and *S3*, closer to *S2*, gland pore *gdZ3*

located between *Z3* and *R5*, closer to *Z3*, gland pore *gdS5* located above the base of *S5*. Opisthonotal shields covered with small, distinct spots and irregular cavities.

Measurements for opisthonotal setae: Average lengths of opisthonotal setae and distances between their bases in deutonymph specimens of *P. celali* were given in Table 1.

Table 1. Average measurements for deutonymph specimens' opisthonotal setae

<i>J1</i>	13	<i>Z1</i>	8	<i>S1</i>	6
<i>J1-J2</i>	28	<i>Z1-Z2</i>	28	<i>S1-S2</i>	19
<i>J2</i>	13	<i>Z2</i>	10	<i>S2</i>	10
<i>J2-J3</i>	23	<i>Z2-Z3</i>	28	<i>S2-S3</i>	25
<i>J3</i>	13	<i>Z3</i>	10	<i>S3</i>	30
<i>J3-J4</i>	18	<i>Z3-Z4</i>	18	<i>S3-S4</i>	-
<i>J4</i>	8	<i>Z4</i>	13	<i>S4</i>	-
<i>J4-J5</i>	18	<i>Z4-Z5</i>	35	<i>S4-S5</i>	-
<i>J5</i>	8	<i>Z5</i>	25	<i>S5</i>	33

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, deutonymph specimens of *P. celali* was found for the first time. Its description and drawing was presented. It was determined that this endemic zerconid species reported from Denizli (Honaz Mountain National Park) and Muğla (Seydikemer county) provinces previously (Figure 3) (Urhan, 2010; Urhan and Karaca, 2024). For the potential geographic distribution of this species, it can be reported from Antalya and Isparta provinces (in the Mediterranean region of Türkiye) as well as the islands of Rhodes and Crete (Greece) in the near future.

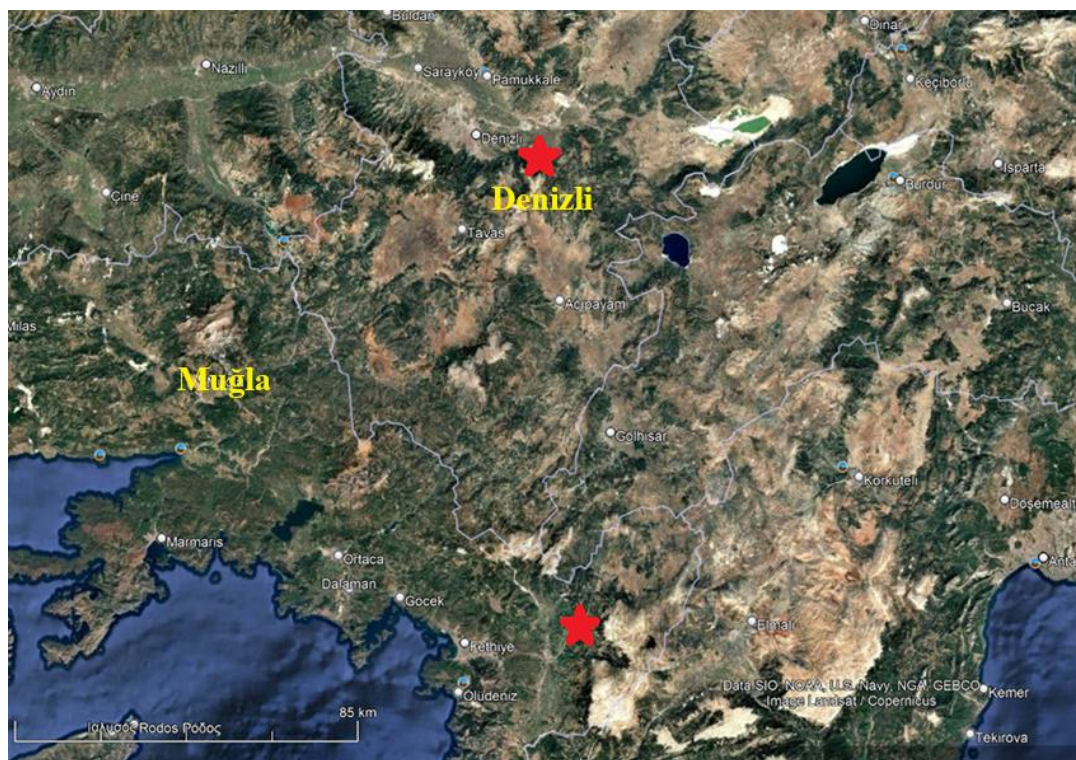


Figure 3. Known distribution of *P. celali* (red stars indicate the recorded areas of the species)

REFERENCES

- Ghilarov, M. S., On the interrelations between soil dwelling invertebrates and soil microorganisms. In Soil organisms, Doeksen, J., van der Drift, J. (Eds.), North-Holland Publishing Company, Amsterdam, pp. 255-259, 1963.
- Karaca, M., Review of the mite genus *Prozercon* Sellnick, 1943 (Acari: Zerconidae) in Turkish Thrace, with descriptions of four new species. *Zootaxa*, 5636 (1), 35-68, 2025.
- Petersen, H., Structure and size of soil animal populations. *Oikos*, 39, 306-329, 1982.
- Sikora, B., Mites of the family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) of the Nearctic Region. *Annales Zoologici (Warszawa)*, 64 (2), 131-250, 2014.
- Urhan, R., *Prozercon celali* sp. nov. of soil mites (Acari: Zerconidae) from Turkey. *Annales Zoologici*, 60 (1), 133-137, 2010.
- Urhan, R., Karaca, M., Species diversity of the mite family Zerconidae (Acari: Mesostigmata) in İzmir province. In Multifaceted Academic Perspective: Basic Sciences and Engineering Research, Demirer, A. (Ed.), SRA Academic Publishing, Klaipeda, Lithuania, pp. 1-26, 2023.



Urhan, R., Karaca, M., Muğla ilinde zerkonid akarlar (Acari: Zerconidae) üzerine sistematik çalışmalar (in Turkish). In *Biyoloji Bilimlerinde Yeni Güncel Konular I*, Bilgili, A. (Ed.), Bidge Yayınları, Ankara, Türkiye, pp. 62-85, 2024.

BİTKİ PATOJEN MİKROORGANİZMALARIN TEŞHİSİNDE CRISPR/Cas UYGULAMALARI

CRISPR/Cas-BASED IMPLEMENTATIONS IN THE DIAGNOSIS OF PLANT PATHOGENEIC MICROORGANISMS

Dr Öğr. Üyesi Berna BAŞ

Gaziantep Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü

bernabas01@gmail.com - ORCID ID: 0000-0003-2455-2849

ÖZET

Fitopatojen organizmaların neden olduğu bitki hastalıkları birçok tarım ürünlerinde önemli ürün kayıplarına yol açmaktadır. CRISPR-Cas teknolojisi enfekteli bitki içindeki patojen organizmayı teşhis edecek büyük bir potansiyele sahiptir. Konuyla ilgili yapılan birçok araştırmalarda bitki patojen mikroorganizmaların tayinine yönelik tasarlanan ve optimize edilen CRISPR/Cas12a sisteminin teşhis amaçlı kullanımı giderek önem kazanmaya başlamıştır. Bitki patojen mikroorganizmaların morfolojiye dayalı klasik teşhis yöntemlerinin uzun zaman alması, deneyim gerektirmesi, hatalı sonuç verme eğilimi, yine moleküler tanı teşhislerinde kullanılan klasik PCR prosedürlerindeki reaksiyon süresinin uzun olması, yüksek donanımlı ekipman ihtiyacı ve arazide yerinde teşhise uygun olmaması gibi nedenlerden dolayı araştırmacılar CRISPR/Cas 'a dayalı teşhis programına odaklanmaya başlamışlardır. Daha basit, daha yüksek verimli, hata payı daha düşük ve farklı koşullara adapte edilebilen CRISPR/Cas12a sistemi, DNA çift iplikçikleri (veya kolonları) üzerinde simetrik değil ama asimetrik uçlu kesimler yapması nedeniyle DNA tamir mekanizmasının daha etkin çalışmasını sağlamakta, PAM bölgesinden uzakta kesim yapması yeni nükleik asit tanıma bölge olasılıklarını artırmaktadır. Sunulan bu derleme de CRISPR/Cas12a 'ya dayalı moleküler tanı yönteminin bitki hastalıklarının gerçek zamanlı teşhisinde başarıyla uygulanabileceği çeşitli araştırma sonuçlarıyla gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: CRISPR-Cas12a, bitki patojen mikroorganizmalar, hızlı tanı-teşhis

ABSTRACT

Plant diseases caused by phytopathogenic organisms lead to significant yield losses in many agricultural products. CRISPR-Cas technology has great potential for identifying pathogenic organisms within infected plants. Numerous studies on the subject have highlighted the use of the CRISPR/Cas12a system, designed and optimized for the detection of plant pathogenic microorganisms, for diagnostic purposes. Due to the time-consuming, demanding experience, and tendency to yield inaccurate results associated with conventional morphology-based identification methods for plant pathogenic microorganisms, the long reaction times of conventional PCR procedures used for molecular diagnostics, the need for sophisticated

equipment, and their unsuitability for on-site field diagnosis, researchers have begun to focus on CRISPR/Cas-based diagnostic programs. The CRISPR/Cas12a system, which is simpler, more efficient, less prone to error, and adaptable to different conditions, allows for more efficient DNA repair by producing staggered ends, rather than blunt ends, breaks on double stranded DNA (or threads). Its cutting distance from the PAM region increases the possibilities for new nucleic acid recognition sites. This review demonstrates the successful application of CRISPR/Cas12a-based molecular diagnostic methods in real-time diagnosis of plant diseases through various research results.

Key words: CRISPR-Cas12a, plant pathogenic microorganisms, rapid diagnosis

1. GİRİŞ

Tarım ürünlerinde bitki hastalık ve zararlıları nedeniyle meydana gelen kayıpların dünya genelinde yıllık %20 - %40 dolaylarında olduğu tahmin edilmektedir [1]. Gıda güvencesinin geleceğini tehdit eden ürün kayıpları iklim krizinin etkisiyle daha da büyüyecektir. Bitki biyoteknolojisi ve biyolojideki yeni teknolojik atılımlardan biri de CRISPR-Cas sistemiyle nükleik asit analizlerine dayalı patojen teşhislerinin son derece hızlı, zamanında ve güvenilir olarak gerçekleştirilmesidir. Böylece bitkilerin gelişimlerinin gözlenmesi ve hastalıkların erken dönemde önlenmesiyle alınacak erken tedbirler hem ürün kayıplarında azalmalara neden olacak hem de gıda güvencesinin sürdürülebilirliğini sağlayacaktır.

Düzenli Aralıklı Palindromik Tekrar Kümeleri şeklinde ifade edilen CRISPR, bakteri, arkea gibi prokaryotik organizmaların genomlarında doğal olarak bulunan bir DNA sekans dizisidir [2]. CRISPR-Cas sisteminin efektörlerine göre sınıflandırılan ve her bir sınıfın fonksiyon ve yapısına göre değişen grupları ve filogenetik yapılarına göre alt grupları bulunmaktadır [3]. Yapısı en iyi bilinen en çok çalışılan grup CRISPR/Cas9a ve CRISPR/Cas12a 'dır.

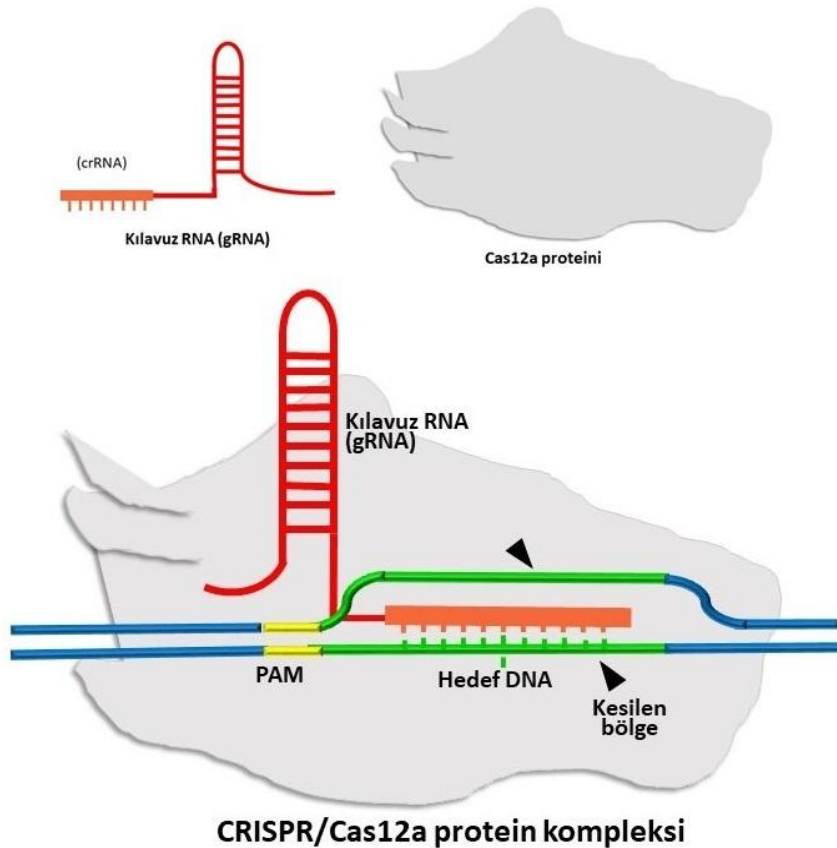
Teşhis amacıyla uygulanan RPA-CRISPR/Cas12a sistemi 4 aşamalı olup bütün aşamalar bir tek tüp içinde entegre edilmektedir. Bunlar DNA örneği hazırlık aşaması (~ 5-10 dak), DNA üzerinde belirlenen bölgenin RPA ile çoğaltılması-sekansa özgü tanıma-Cas12a/crRNA ile ayrılma aşaması (~ 30-60 dak) ve floresan olarak görünme aşaması (~ 2 dak) şeklindedir [4]. Çok büyük duyarlılıkla çalışan bu test özellikle pikogram hatta femtogram düzeyde bile DNA teşhisi yapabilme özelliğiyle patojenle infekteli bitkilerde hastalık yayılmadan erken teşhis olanağı sunmaktadır. Bu avantajların yanısıra bazı dezavantajları bulunan CRISPR 'a dayalı metotların ara aşamalarını oluşturan test organizmasından DNA/RNA hazırlığı, kılavuz RNA (gRNA) tasarımı, reporter probe tercihi vb. adımlar teknik sürecin karmaşıklığına neden olmaktadır. Bu zorluklar CRISPR teknolojisinin araziye uyarlanmasını sınırlandırmaktadır. Yine de çok yönlülüğe sahip bir teknik olmasından dolayı CRISPR-Cas metotlarının kaldırma özelliği gelecek yıllardaki inovatif teknolojilerin desteğiyle araziye uyumlu çalışılabilir düzeneklerin kurulumuna uygun hale gelecektir.

Fitopatojen organizmaların teşhisi için de kullanılabilen CRISPR sistemi çok az miktarda DNA ile erken tanı olanakları sunmakta ve patojen mikroorganizmayı tayin edebilme çalışmaları yapılmaktadır. Böylece hedefe yönelik bitki koruma mücadele stratejisi geliştirilmesine zemin

hazırlanmaktadır. Sunulan bu derleme de CRISPR/Cas12a 'ya dayalı moleküler tanı yönteminin, bitki hastalıklarının gerçek zamanlı teşhisinde başarıyla uygulanabileceği çeşitli araştırma sonuçlarıyla gösterilmiştir.

2. CRISPR-Cas Teknolojilerinde CRISPR-Cas12a 'nın Çalışma Prensipleri [5]

CRISPR-Cas12a iki temel bileşenden meydana gelmektedir, biri Cas proteini ve diğeri tek iplikçikli kılavuz RNA (gRNA) 'dır [6]. Cas proteini kılavuz RNA ile birleşir ve ikisi birlikte hareket ederek DNA üzerinde herhangi bir bölgeye bağlanabilir. gRNA özel ve programlanabilir bir şekilde tasarlanabilir ve böylece Watson-Crick eşleşmesine uygun olarak hedef DNA üzerinde komplementer bir bölgeyle bağlantı kurmaktadır. Bundan sonra Cas proteini konformasyonel değişim geçirerek endonükleaz aktivitesi kazanmakta ve çift iplikçikli DNA 'yı PAM 'dan ilerde bir bölgeden asimetrik olarak kesmektedir (Şekil 1). DNA üzerinde yer alan PAM (Protospacer Adjacent Motif) bölgesi, gRNA bağlantı bölgesine bitişik yegane bölgedir. Cas enzimi DNA 'da cis-parçalama ile kesim yaptıktan sonra trans-parçalama aktivitesi ortaya çıkmaktadır. Trans-parçalama aktivitesi farklı DNA probe, reporter, primer gibi fragmentleri de kesebilme özelliğini ifade etmektedir. Bu yegane özellikleriyle yeni PAM bölgeleri aracılığıyla yeni tanıma sekansları üretilebilecek ve böylece son derece hassas bir şekilde nükleik asite dayalı teşhisler yapılabilir.



Şekil 1. CRISPR/Cas12a proteini ve gRNA 'nın temel şeması. Kılavuz gRNA ve Cas12a proteini birleşince Cas proteini nükleaz aktivitesi kazanır ve hedeflenen DNA bölgesine yönelir

2.1. Bitki Patolojisinde CRISPR/Cas Sistemine Dayalı Fitopatojen Organizmaların Teşhis Çalışmaları

Tarım bitkilerine zarar veren bakteri, fungus gibi patojen mikroorganizmaların klasik tayin yöntemlerinde patojenlerin bitkilerden izolasyonu ve kültür ortamında kültüre alınması, gelişen kolonilerin seleksiyonu, selekte olan kolonilerin tekrar kültüre alınması, morfolojik gözlemler, fizyolojik ve biyokimyasal testler, RCR testleri, sekanslama çalışmaları, viral nükleik asit tayin çalışmaları oldukça uzun zaman almakta, laboratuvar ekipmanı gerektirmekte ve bütün bu ara aşamalar teknik deneyim gerektirmektedir [7]. Laboratuvar dışındaki sahada teşhis çalışmalarına uygun olmayan bu deneyler dizisi araştırmacıları CRISPR-Cas12a gibi saha araştırmalarına uyarlanabilen, etkili, pratik, duyarlı ve özgün teşhis yöntemlerine yönlendirmektedir. Kısaca yazılan CRISPR/Cas sistemi (**C**lustered **R**egularly **I**nterspaced **S**hort **P**alindromic **R**epeats/**C**RISPR-associated protein), düzenli aralıklarla kümelenmiş kısa palindromik tekrarlar/CRISPR ile ilgili proteinleri ifade etmektedir ve nükleik asitlerin tanısında başarıyla kullanılmaktadır [8, 9].

Recombinase polymerase amplification (RPA) yöntemi CRISPR-Cas12a tanı sistemiyle birlikte kullanılarak çeltik yanıklık etmeni *Magnaporthe oryzae* fungusunun $10^{-1}/\mu\text{l}$ kadar düşük miktardaki DNA 'sı yüksek hassasiyetle, fungusa özgü ve kesin tanısı yapılmıştır [10]. Araştırmada ilgili fungusa ait çalışılan 30 izolatinin virülotiplendirmesinde kullanılan patojenisite genlerinden tyrosinase enzim geni korunmuş özellikte olduğundan CRISPR 'ın hedeflediği belirteç gen olarak seçilmiştir. İnfekteli bitkilerden izole edilen patojene ait DNA 'lar PCR 'dan daha basit bir teknik olan RPA ile çoğaltılmış ve CRISPR-Cas12a tayin sistemiyle kombine edilmiştir.

CRISPR/Cas12a yönteminin hastalık teşhisinde kısa sürede sonuç vermesinden dolayı çeşitli ülkelerde tarım arazilerinde yerinde ve gümrüklerde kullanıma uygun prosedür geliştirme araştırmaları da yapılmaktadır. Odunsu bitkilerin meyvelerinde kahverengileşme, kök ve kök boğazında çürümelere neden olan *Phytophthora syringae* 'nın tanısında CRISPR/Cas12a ile hızlı ve duyarlı teşhis yöntemi geliştirilmiştir [11]. Optimal koşulların belirlenmesi amacıyla ele alınan bu yöntemin güvenilirliğini test etmek için *P. hibernalis*, *P. palmivora*, *P. nicotianae* ve *P. citrophthora* fungusları da denemeye alınmış ve CRISPR/Cas12a sistemiyle sadece *P. syringae* pozitif sonuç vermiştir. Patojen organizmanın teşhisinde PCR 'dan daha basit olan recombinase polymerase amplification (RPA) tekniği CRISPR/Cas12a ile birleştirilmiş ve floresan ışıkla çok fonksiyonlu mikro plaka okuyucular kullanılmıştır. Üstelik daha fazla cihaz ve deneyimli kişi gerektiren klasik PCR protokole bağlı olarak 45 – 60 dak. arası sürede tamamlanırken bu denemede daha az cihazla 37 °C ve 45 dakika yeterli olmuştur. Benzer şekilde diğer bir araştırmada farklı coğrafik alanlardan toplanan 33 farklı *Phytophthora sojae* fungal izolatların büyük bir duyarlılıkla ayırt edilmesinde RPA-CRISPR/Cas12a kombinasyonu kullanılmıştır [12]. Cas12a sistemi klasik PCR ile birlikte kullanıldığında $100 \text{ pg} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ fungal DNA 'ya ihtiyaç duyulurken, RPA ile birlikte kullanıldığında 10 kat daha az, $10 \text{ pg} \cdot \mu\text{l}^{-1}$ kadar fungal DNA yeterli olmuştur. Çok az bir DNA ile çalışan RPA-CRISPR/Cas12a tekniği uygun maliyeti, portatif enstrümanları, mükemmel hassasiyeti nedeniyle hem gümrüklerde hem çeşitli arazilerde örnekleri laboratuvara getirmeye gerek kalmadan yerinde teşhis kolaylığı sağlamaktadır. Ayçiçeği phomopsis gövde kanser etmeni *Diaporthe helianthi*

fungusunun RPA/CRISPR-Cas12a sistemiyle hızlı ve doğru bir tanı stratejisi geliştirmek amacıyla bir araştırma yapılmıştır [13]. İlgili patojenin tayin prosedürü 45 dakikada tamamlanmış olup, sonuçlar hem floresan sinyal okuma ile hem de lateral flow test şeritleriyle elde edilmiştir. Araştırmacılar patojen genomik DNA tespitinin son aşamasında, floresan sinyal (FS) okuma testi için $1 \text{ pg.}\mu\text{l}^{-1}$ DNA 'nın, lateral flow test (LFT) şeritleri için ise $0,1 \text{ pg.}\mu\text{l}^{-1}$ DNA 'nın yeterli olduğunu, qPCR için ise $10 \text{ pg.}\mu\text{l}^{-1}$ DNA kullanıldığını bildirmişlerdir. Tespit edilen genomik DNA miktarları klasik qPCR ile kıyaslandığında Cas12a 'ya dayalı geliştirilen yeni sistemde FS testinin 10 kat ve LFT testinin ise 100 kat daha duyarlı olduğu görülmektedir. Soğan kök çürüklüğüne neden olan önemli fungal hastalık etmeni *Setophoma terrestris* fungusu gümrüklerde karantina kapsamında Çin 'e girişi yasaklı listede yer almaktadır [14]. Bu amaçla patojenin hızlı ve güvenilir tanısı için RPA/CRISPR-Cas12a sistemine dayalı teşhis protokolü geliştirilmiştir [14]. Denemede qPCR ile *S. terrestris* 'in teşhisinde $1 \text{ pg.}\mu\text{l}^{-1}$ DNA kullanılırken Cas12a ile $10 \text{ fg.}\mu\text{l}^{-1}$ DNA (fg; femtogram = 10^{-15} gram 'dır) tayin edildiği rapor edilmiştir. İlgili çalışmada *S. terrestris* 'in ITS gen bölgesi, diğer akraba olan ve olmayan fungal cinslerden farklı ve sadece bu patojene özgü sekans dizilerine sahip olması nedeniyle gRNA primer tasarımı için seçilmiştir. Yaklaşık 40 dakikada sonuç veren RPA/CRISPR-Cas12a teşhis protokolü *S. terrestris* için gümrüklerde ve karantina bölgelerinde kullanılabilecek yegane bir niteliğe sahiptir. Hedeflenen nükleik asit sekanslarını hassas bir özgüllükle tanıyan CRISPR-Cas12a sistemi çok çeşitli mikroorganizmalara uyarlanabilecek bir potansiyel sunmaktadır.

Buğdayda başak yanıklık etmeni *Fusarium graminearum* etmeniyle infeksiyondan 4 gün sonra patojenin sadece $1 \text{ fg.}\mu\text{l}^{-1}$ total DNA 'sı CRISPR-Cas12a-nükleik asit tanı testiyle tespit edilmiştir [15]. Oysa klasik standart PCR 'a dayalı tanı teşhislerinde ng- μg aralığında DNA kullanılmaktadır. Cas12a enzimlerinin trans-parçalama özelliğine dayanarak *F. graminearum* fungusunun EF1 α faktörü ve ITS bölgesinin sekans dizilerinden belirteç olarak DNA problemleri tasarlanmış ve kılavuz gRNA hibridizasyonunda kullanılmak amacıyla PCR ile çoğaltılmıştır. *F. graminearum* ile infekteli buğdaylarda ilk gözle görülür belirtiler çiçeklenmeden 3 hafta sonra ortaya çıkmakta olup [16], erken tanı yöntemleriyle tespit edilen patojenlere karşı geliştirilebilecek erken bitki koruma mücadele yönetimiyle olası hasarlar azaltılabilecektir.

Karpuzda meyvelerde kahverenkli lezyonlar üreten bakteriyel patojen *Acidovorax citrulli* etmeni CRISPR/LbCas12a metodolojisi kullanılarak floresan sinyallerle özgül olarak teşhis edilmiş ve denemeye alınan *Erwinia tracheiphila*, *Pseudomonas syringae*, *Xanthomonas campestris* gibi diğer fitopatojen bakterilerle çapraz reaksiyon gelişmemiştir [17]. *Acidovorax citrulli* bakterisinden izole edilen 0,7 kopye/ μl miktardaki DNA tayini yapabilen CRISPR-Cas12 sisteminin klasik PCR ve qPCR 'dan 100 kat daha duyarlı olduğu bildirilmiştir.

İnsan virüs hastalıklarına neden olan SARS-CoV-2, Zika, Ebola, HPV gibi organizmalara ait viral nükleik asit tayinlerinin de CRISPR-Cas sistemiyle yapılan araştırmalarına ait başarılı sonuçlar bulunmaktadır [18]. Dolayısıyla bitki virüslerine de uyarlanabilen CRISPR teknolojisiyle domatestede ürün kayıplarına neden olan tek iplikçikli pozitif-sense RNA virüsü ToBRFV 'nin tanısı, lateral flow assay (LFA) ile test edilmiştir [19]. ToBRFV virüsünün infekteli bitkilerden tayininde pozitif sonuçlar alınmış olsa da, özellikle bitki virüslerinin izolasyonu, çevresel faktörler ve örneklerin proseslenmesinde kullanılan ayıraçların soğuk koşullarda muhafaza edilmesi CRISPR sisteminin arazide uygulanmasını sınırlandırmaktadır [18]. Rehidrasyon solüsyonuna uygun örneklemeye çalışmaları geliştirilmediği sürece CRISPR

ile teşhislerde gerekli olan nükleik asitlerin çoğaltılma adımları, nükleaz, RNA gibi maddeleri içeren solüsyonların soğuk zincirde inkübasyonu gibi zorunluluklar Cas sisteminin kontaminasyon riskini artıracaktır [20]. Özellikle nükleik asit çoğaltılma aşaması olmayan, patojenin bitki içinde teşhis edilebileceği yeniliklere ihtiyaç bulunmaktadır.

3. SONUÇ DEĞERLENDİRME

Tarımsal üretim sezonu boyunca patojen organizmaların gözlenmesi ve tedbir amaçlı tetkikler yapılarak bitki hastalıklarının erken tanısı CRISPR-Cas12a yöntemiyle mümkün görünmektedir. Basit, ucuz, hızlı, duyarlı ve kesin sonuca ulaştıran CRISPR-Cas yönelimli nükleik asit tayin yöntemi bitki hastalıklarının erken teşhisinde radikal değişimler yapacaktır. RNA-yönelimli programlanabilir CRISPR teknolojisinin uyarlanabilir özelliği tarım ve ilgili endüstrilerde gelecekte çok çeşitli alanlarda mikroorganizmaların erken tanısına adapte edilebilecek geniş bir kullanım imkanı sunmaktadır. Çeşitli rollere sahip olan CRISPR-Cas teknolojileri özellikle uluslararası gıda ticaretinin yapıldığı gümrüklerde karantina uygulamalarını hızlandıracak, tarıma dayalı gıda endüstrisinde ve tarım arazilerinde yerinde ölçümler yapılarak hastalık etmeninin erken uyarı bilgileriyle hastalık tahminlerinde kullanılabilecektir. Böylece erken hastalık kontrol yönetimiyle ürün kaybında azalmalara neden olunacaktır. Tanı-teşhis amaçlı CRISPR sisteminin dezavantajları özellikle DNA izolasyonu ve RPA reaksiyonunda kullanılan tampon çözeltilerin ihtiyaç duyduğu özel koşullar arazide veya gümrüklerde veya yerinde teşhisi zorlaştırmaktadır. Henüz standardize edilmiş metodolojinin olmaması diğer bir dezavantajdır. Bu nedenle özellikle çiftçilerinde kolaylıkla uygulayabileceği kolaylıkta dış çevre koşullarında çalışılabilecek metotların geliştirilmesi gereklidir.

KAYNAKÇA

- [1] FAO. <https://www.fao.org/pest-and-pesticide-management/about/understanding-the-context/en/#:~:text=FAO%20estimates%20that%20plant%20pests,global%20crop%20yields%20per%20year> (Erişim tarihi: 29. 10. 2025).
- [2] Barrangou, R. The roles of CRISPR–Cas systems in adaptive immunity and beyond. *Current Opinion in Immunology*, 32, 36-41, 2015.
- [3] Xu, Y., Li, Z. CRISPR-Cas systems: Overview, innovations and applications in human disease research and gene therapy. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 18, 2401–2415, 2020.
- [4] Yang, J. W., Kim, H., Hyeon, L. S., Yoo, J. S., Kang, S. Development of a Recombinase Polymerase Amplification-Coupled CRISPR/Cas12a Platform for Rapid Detection of Antimicrobial-Resistant Genes in Carbapenem-Resistant Enterobacterales. *Biosensors*, 14(11), 536, 2024.
- [5] Jaybhaye, S. G., Chavhan, R. L., Hinge, V. R., Deshmukh, A. S., Kadam, U. S. CRISPR-Cas assisted diagnostics of plant viruses and challenges. *Virology*, 597, 110160, 2024.
- [6] Bhattacharya, S., Agarwal, A., Muniyappa, K. Deciphering the Substrate Specificity Reveals that CRISPR-Cas12a Is a Bifunctional Enzyme with Both Endo- and Exonuclease Activities. *Journal of Molecular Biology*, 436(10), 168550, 2024.

- [7] Ward, E., Foster, S. J., Fraaije, B. A., McCartney, H. A. Plant pathogen diagnostics: immunological and nucleic acid-based approaches. *Annals of Applied Biology*, 145(1), 1-16, 2004.
- [8] van Dongen, J. E., Berendsen, J. T., Steenbergen, R. D., Wolthuis, R. M., Eijkel, J. C., Segerink, L. I. Point-of-care CRISPR/Cas nucleic acid detection: Recent advances, challenges and opportunities. *Biosensors and Bioelectronics*, 166, 112445, 2020.
- [9] Selvam, K., Ahmad Najib, M., Khalid, M. F., Ozsoz, M., Aziah, I. CRISPR-Cas Systems-Based Bacterial Detection: A Scoping Review. *Diagnostics (Basel, Switzerland)*, 12(6), 1335, 2022.
- [10] Karan, R., Prasannakumar, M. K., Khera, H. K., Harish, J., Vamsidharreddy, N., Venkateshbabu, G., ..., Mishra, R. K. Molecular virulotyping and advancing the detection of *Magnaporthe oryzae* using a CRISPR-Cas12a-based diagnostic tool. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 41(5), 1-20, 2025.
- [11] Guo, Y., Tan, J., Jiao, B., Wang, F., Wang, H., Yang, C., Dai, T. Establishment of a rapid detection system for *Phytophthora syringae* based on RPA/CRISPR-cas12a. *Crop Protection*, 190, 107106, 2025.
- [12] Li, Z., Feng, W., Zhu, Z., Lu, S., Lin, M., Dong, J., ..., Chen, Q. Cas-OPRAD: a one-pot RPA/PCR CRISPR/Cas12 assay for on-site *Phytophthora* root rot detection. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1390422, 2024.
- [13] Kuang, R., Lei, R., Li, M., Sun, X., Duan, W., Yang, Y., ..., Wang, X. Rapid diagnosis of *Diaporthe helianthi* in sunflower using RPA/CRISPR-Cas12 and lateral flow assay. *Phytopathology Research*, 7(1), 17, 2025.
- [14] Zhao, P., Feng, Z., Cai, L., Phurbu, D., Duan, W., Xie, F., ..., Liu, F. Development of an RPA-CRISPR/Cas12a assay for rapid and sensitive diagnosis of plant quarantine fungus *Setophoma terrestris*. *Journal of Fungi*, 10(10), 716, 2024.
- [15] Mu, K., Ren, X., Yang, H., Zhang, T., Yan, W., Yuan, F., ..., Zeng, Q. CRISPR-Cas12a-based diagnostics of wheat fungal diseases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 7240-7247, 2022.
- [16] Crop Science. <https://www.cropscience.bayer.us/articles/bayer/fusarium-head-blight-in-wheat> (Erişim tarihi: 29. 10. 2025).
- [17] Wang, Z., Cheng, W., Dong, Z., Yao, X., Deng, X., Ou, C. A CRISPR/LbCas12a-based method for detection of bacterial fruit blotch pathogens in watermelon. *Microbiology Spectrum*, 12(3), e03846-23, 2024.
- [18] Wang, M., Zhang, R., Li, J. CRISPR/cas systems redefine nucleic acid detection: principles and methods. *Biosensors and Bioelectronics*, 165, 112430, 2020.
- [19] Besati, M., Safarnejad, M. R., Aliahmadi, A., Farzaneh, M., Ruiz, R., Montagud-Martínez, R., ..., Rafati, H. Detection of tomato brown rugose fruit virus through CRISPR-Cas12a and CRISPR-Cas9 systems. *Scientific Reports*, 15(1), 25638, 2025.



- [20] Pardee, K., Green, A. A., Takahashi, M. K., Braff, D., Lambert, G., Lee, J. W., ..., Collins, J. J. Rapid, low-cost detection of Zika virus using programmable biomolecular components. *Cell*, 165(5), 1255-1266, 2016.
- .

CARBON-DOPED TiO₂ FOR THE ENHANCED PHOTOCATALYTIC DEGRADATION OF CIPROFLOXACIN

Nazli Turkten¹, Yunus Karatas¹, Yelda Yalcin Gurkan², Simal Kurumoglu^{*2}

¹Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Kirsehir Ahi Evran University, Kirsehir, 40100, Türkiye.

²Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Tekirdag Namik Kemal University, Tekirdag, 59030, Türkiye.

Nazli Turkten¹: nazli.turkten@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9343-3697

Yunus Karatas¹: ykaratas@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3826-463X

Yelda Yalcin Gurkan²: yyalcin@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8621-2025

Simal Kurumoglu^{*2}: skurumoglu@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9456-5456

ABSTRACT

Currently, detection of antibiotics in water resources has become a global concern due to the rapid growth of the pharmaceutical industry, causing adverse ecological impacts. Ciprofloxacin (CIP) is one of the most commonly detected third-generation fluoroquinolone antibiotics, particularly found in wastewater treatment plants and drinking water. Therefore, purification of CIP-polluted water under sunlight is a prominent topic in water treatment. Photocatalysis is a potential approach for treating water contaminated with antibiotics. This effective and green wastewater treatment strategy utilizes semiconductors as mediators. A carbon-doped TiO₂ (C-TiO₂) photocatalyst was prepared using a wet impregnation method. The photocatalytic performance of the C-TiO₂ specimen was evaluated for the degradation of CIP, achieving a 90% elimination of CIP within 30 minutes. The effect of initial CIP concentration under solar-simulated light irradiation was also examined.

Keywords: Antibiotics, carbon-doped TiO₂, ciproflaxacin, photocatalysis, wet impregnation.

1. INTRODUCTION

The growth of the pharmaceutical industry has led to the detection of significant levels of antibiotics in water bodies, primarily a second-generation fluoroquinolone antibiotic known as CIP. This effective antibacterial and anti-inflammatory antibiotic is particularly used in both human and veterinary medicine, particularly in the treatment of conditions such as digestive, skin, and urinary tract infections, featuring a quinolone structure and a piperazine moiety. The presence of CIP traces even at low concentrations contributes to the formation of antibiotic-resistant bacteria and resistance genes, which in turn have a long-term impact on human health. Hence, the removal of CIP from the environment is necessary to improve water quality. (Agalya, Krishna Veni, Nehru, & Eswaramoorthy, 2025; Batterjee et al., 2022; Chen, Yao, Huang, Gong, & Chu, 2018; Hu et al., 2020; Shehu Imam, Adnan, & Mohd Kaus, 2018).

Conventional methods are inadequate for eliminating CIP due to its bio-resistant nature. Thereby, TiO_2 photocatalysis has attracted interest as an environmentally friendly and efficient method to achieve complete mineralization. TiO_2 -based photocatalysts are attractive in water treatment due to their biological and chemical inertness, as well as their nontoxic properties (Chen et al., 2018; Disha & Kumar, 2023; El-Kemary, El-Shamy, & El-Mehasseb, 2010; Hu et al., 2020).

Several modification attempts have been made to improve solar energy utilization and extend the photo-response of TiO_2 (Birben Nazmiye et al., 2016; Birben et al., 2015; Yalçın, Kılıç, & Çımar, 2010). Doping of non-metal ions, especially carbon, is a promising strategy for preparing TiO_2 photocatalysts that are active under visible light (Yalçın et al., 2010). Yalcin et al. prepared a series of nitrogen, sulfur, and carbon-doped TiO_2 photocatalysts via an incipient wet impregnation method (Yalçın et al., 2010). They investigated a combination of experimental and computational approaches to characterize the impact of anions on the electronic and structural features of TiO_2 . In another photocatalytic study, the photocatalytic activities of nitrogen, sulfur, carbon, and sulfur/nitrogen-doped TiO_2 specimens were examined on the degradation of humic acid (Birben Nazmiye et al., 2016). Shi et al. prepared carbon self-doped TiO_2 flakes using a hydrothermal method and investigated their photocatalytic efficiency on the degradation of CIP (Shi, Wang, He, Li, & Niu, 2015).

The primary focus of this study was the investigation of the photocatalytic activity of the C- TiO_2 photocatalyst. The photocatalytic degradation of CIP was studied using the C- TiO_2 specimen prepared by the wet impregnation method. Moreover, the initial CIP concentration was assessed for its impact on the photocatalytic performance of the C- TiO_2 specimen.

2. MATERIALS

TiO_2 (Evonik), glucose (Sigma-Aldrich), and CIP (Cipro) were used without further treatment. The C- TiO_2 specimen containing 0.50 wt% was prepared by the wet impregnation method. The detailed synthesis procedure and characterization findings were presented in our previous study (Yalçın et al., 2010).

The photocatalytic activity experiments of the C- TiO_2 specimen were assessed by degrading 50 mL of CIP (0.25 g/L) antibiotic solution at a concentration of 0.25 g/L. The solution was irradiated from above using an OSRAM Ultra-Vitalux lamp (300 W) as a solar simulation.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The initial spectra of CIP exhibited a maximum absorption band at $\lambda_{\text{max}} = 276$ nm, relating to the $\pi-\pi^*$ electronic transitions of the aromatics (Figure 1). The gradual reduction in the intensities of the absorbance bands during the photocatalytic process revealed the photocatalytic degradation of CIP.

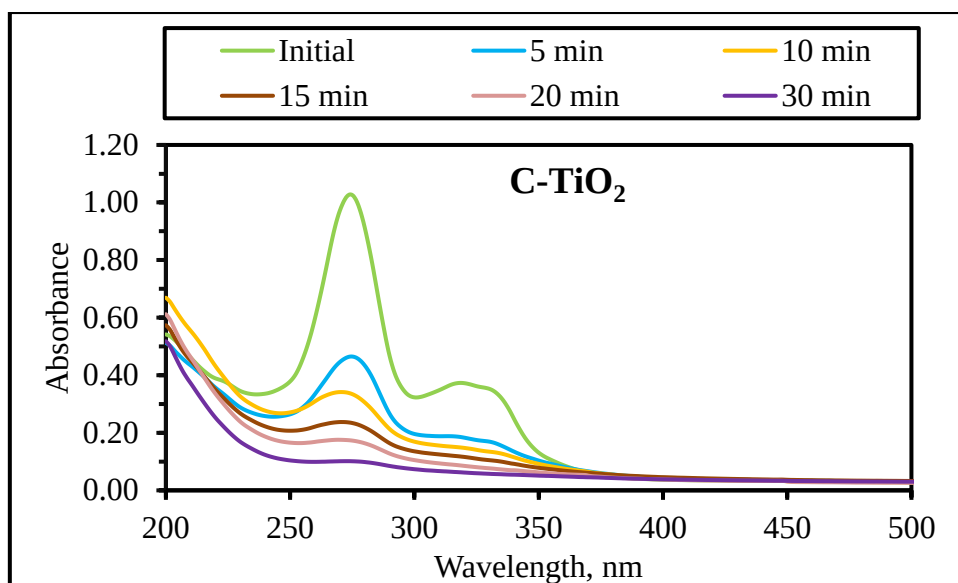


Figure 1. UV-vis absorption spectra of CIP using the C-TiO₂ specimen.

The photocatalytic removal efficiency of CIP was acquired by a UV-vis spectrometer at $\lambda_{\text{max}} = 276 \text{ nm}$ and calculated by equation (1):

$$\text{Removal efficiency, \%} = \left(\frac{A_0 - A_t}{A_0} \right) \times 100 \quad (1)$$

where, A_0 and A_t are the absorbances of CIP at initial and time t , respectively.

In the presence of a 10 mg/L CIP solution, the C-TiO₂ specimen achieved a photocatalytic removal efficiency of 90% for this antibiotic after 30 minutes (Figure 2 (a)). Shi et al. reported that a mineralization of CIP was approximately 70% in 6 hours in the presence of the C-doped TiO₂ flakes, while a mineralization of about 35% was achieved upon the use of C-doped TiO₂ sheets (Shi et al., 2015). These values were significantly lower than our obtained results for the photocatalytic degradation of CIP. The influence of the initial CIP concentration on the CIP removal at 20 min of degradation time was presented in Figure 2 (b). It was observed that the degradation of CIP decreased to 57% at the highest CIP concentration of 30 mg/L.

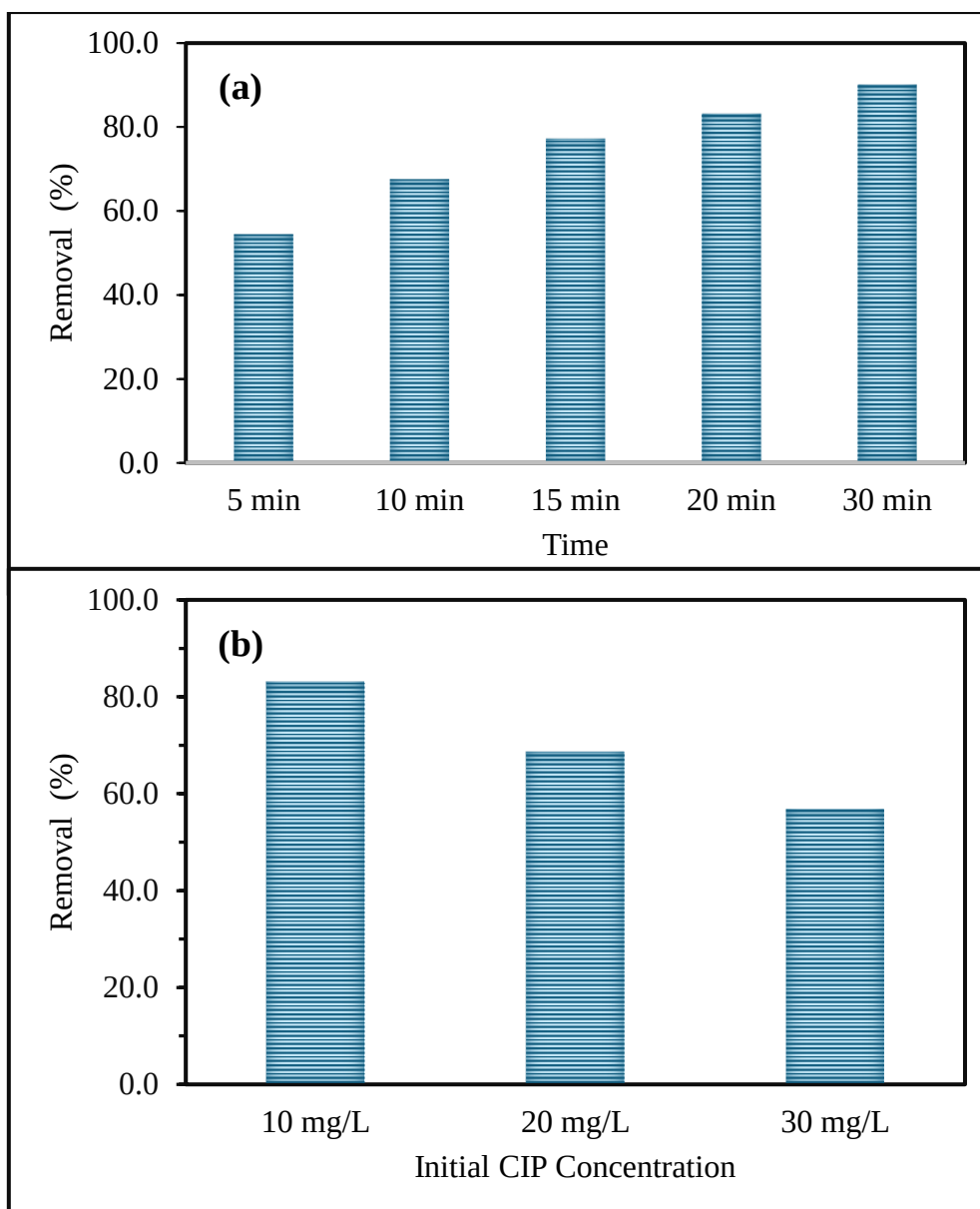


Figure 2. Photocatalytic degradation of CIP upon the use of the C-TiO₂ specimen (a) time-dependent and (b) initial CIP concentration.

4. CONCLUSION

The photocatalytic degradation of CIP was investigated using a C-TiO₂ specimen synthesized by a wet impregnation method. It was found that enhanced photocatalytic performance resulted in a 90% photocatalytic removal efficiency in 30 minutes. An enhanced photocatalytic performance was achieved with a removal efficiency of 90% in 30 minutes using the C-TiO₂ specimen. An increased initial concentration led to a lower degradation of CIP, which was 57% at a concentration of 30 mg/L CIP.

REFERENCES

- Agalya, S., Krishna Veni, k., Nehru, L. C., & Eswaramoorthy, N. (2025). Photocatalytic degradation of organic pollutants and antibacterial properties of CuO nanoparticles: a study on methylene blue, congo red, tetracycline, ampicillin, ciprofloxacin, and azithromycin. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 115(3), 1404–1427. doi:10.1007/s10971-025-06830-5
- Batterjee, M. G., Nabi, A., Kamli, M. R., Alzahrani, K. A., Danish, E. Y., & Malik, M. A. (2022). Green Hydrothermal Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles for UV-Light-Induced Photocatalytic Degradation of Ciprofloxacin Antibiotic in an Aqueous Environment. *Catalysts*, 12(11), 1347. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2073-4344/12/11/1347>
- Birben Nazmiye, C., Uyguner-Demirel Ceyda, S., Sen-Kavurmaci, S., Gürkan Yelda, Y., Türkten, N., Kılıç, M., . . . Bekbolet, M. (2016). Photocatalytic Performance of Anion Doped TiO₂ on the Degradation of Complex Organic Matrix. In *Journal of Advanced Oxidation Technologies* (Vol. 19, pp. 199).
- Birben, N. C., Uyguner-Demirel, C. S., Sen-Kavurmaci, S., Gurkan, Y. Y., Turkten, N., Cinar, Z., & Bekbolet, M. (2015). Comparative evaluation of anion doped photocatalysts on the mineralization and decolorization of natural organic matter. *Catalysis Today*, 240, Part A, 125–131. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2014.04.020>
- Chen, M., Yao, J., Huang, Y., Gong, H., & Chu, W. (2018). Enhanced photocatalytic degradation of ciprofloxacin over Bi₂O₃/(BiO)₂CO₃ heterojunctions: Efficiency, kinetics, pathways, mechanisms and toxicity evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 334, 453–461. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.064>
- Disha, & Kumar, M. (2023). Metal oxide nanomaterials for photocatalytic degradation of antibiotics. *Materials Today: Proceedings*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.422>
- El-Kemary, M., El-Shamy, H., & El-Mehasseb, I. (2010). Photocatalytic degradation of ciprofloxacin drug in water using ZnO nanoparticles. *Journal of Luminescence*, 130(12), 2327–2331. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2010.07.013>
- Hu, X., Hu, X., Peng, Q., Zhou, L., Tan, X., Jiang, L., . . . Ning, Z. (2020). Mechanisms underlying the photocatalytic degradation pathway of ciprofloxacin with heterogeneous TiO₂. *Chemical Engineering Journal*, 380, 122366. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122366>
- Shehu Imam, S., Adnan, R., & Mohd Kaus, N. H. (2018). Photocatalytic degradation of ciprofloxacin in aqueous media: a short review. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 100(5-7), 518–539. doi:10.1080/02772248.2018.1545128
- Shi, J.-W., Wang, Z., He, C., Li, G., & Niu, C. (2015). Carbon-doped titania flakes with an octahedral bipyramid skeleton structure for the visible-light photocatalytic mineralization of ciprofloxacin. *RSC Advances*, 5(119), 98361–98365. doi:10.1039/C5RA20888B
- Yalçın, Y., Kılıç, M., & Çınar, Z. (2010). The Role of Non-Metal Doping in TiO₂ Photocatalysis. *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, 13(3), 281–296. Retrieved from <http://www.ingentaconnect.com/content/stn/jaots/2010/00000013/00000003/art00007>

THE PREDICTED TOXICITY STUDY OF FOUR SELECTED VAT DYES

Nazli Turkten¹, Yunus Karatas¹, Yelda Yalcin Gurkan², Simal Kurumoglu^{*2}

¹Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Kirsehir Ahi Evran University,
Kirsehir, 40100, Türkiye.

²Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Tekirdag Namik Kemal University,
Tekirdag, 59030, Türkiye.

Nazli Turkten¹: nazli.turkten@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9343-3697

Yunus Karatas¹: ykaratas@ahievran.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3826-463X

Yelda Yalcin Gurkan²: yyalcin@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8621-2025

Simal Kurumoglu^{*2}: skurumoglu@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9456-5456

ABSTRACT

The textile industry plays a key economic role in the global market, mainly in developing countries. Vat dyes are known as highly persistent compounds that require alkaline solutions for their wide application in cotton and cellulosic dyeing to gain high fastness properties. These water-insoluble complex dyes are commonly used in the textile industry. The improper treatment of textile wastewater, which contains vat dyes and chemicals from the dyeing process, significantly contributes to water pollution and environmental damage. The predicted toxicity of four vat dyes (Vat Red 1 (VR1), Vat Blue 1 (VB1), Vat Yellow 1 (VY1), and Vat Green 1 (VG1)) was determined for the first time using an *in silico* method. The ProTox 3.0 platform was used to calculate the median lethal dose (LD₅₀) values and endpoints of four vat dyes. Among the vat dyes, VB1 had the highest predicted LD₅₀ of 32000 mg/kg and was in predicted toxicity class 6.

Keywords: *in silico*, LD₅₀, ProTox 3.0, toxicity, vat dyes.

1. INTRODUCTION

Vat dyes and their derivatives are practically soluble only in concentrated sulfuric acid, and these dye compounds are insoluble in water. Chromophore groups can enhance color behavior, which are primarily carbonyl groups containing a conjugated bond system. Carbonyl groups affect dyeing properties, dye stability and dye diffusion. Auxochromic groups in vat dyes are responsible for the absorption wavelength and intensity. These dyes can be classified as indigo and anthraquinone dyes according to their structures containing two or more carbonyl groups. They are derived from ignitable, corrosive, or toxic raw compounds. Vat dyes offer high fastness in cotton and cellulosic material dyeing, requiring temperature control during the dyeing process for optimal color absorption. Despite the insolubility of vat dyes in water, a non-renewable reducing agent such as sodium dithionite is required for dyeing. The vat dyeing process is based on reduction reactions, that convert water-insoluble colorants into their corresponding water-soluble leuco compounds, thereby providing fiber affinity. This heterogeneous reaction occurs primarily through the diffusion of reducing agent particles into

the dye molecules on the surface. Then, the chemical sorption of the reducing agent results in the formation of the leuco form. (Božič and Kokol, 2008; Khattab et al., 2020; Nayfert et al., 2024; Sutlović et al., 2021; Yang et al., 2021).

The novelty of this toxicity study was the assessment of four vat dyes (VR1, VB1, VY1, and VG1) by using an *in silico* method for the first time. The ProTox 3.0 open-web platform was used to calculate the LD₅₀ values and endpoints of four vat dyes. Our study also aimed to provide a toxicological profile and evaluate the chemical risks of selected vat dyes using modern computational methods.

2. MATERIALS

The potential toxicological profiles of four vat dyes were determined by an open-web *in silico* platform (<https://tox.charite.de/protox3/>), ProTox 3.0 (Banerjee et al., 2024). This computational method utilizes machine learning algorithms to predict toxicity across a wide range of endpoints, such as mutagenicity, carcinogenicity, immunotoxicity, and acute toxicity. Further details *in silico* approach were presented in our previous study (Turkten et al., 2025). The chemical structures of the four dyes are presented in Figure 1.

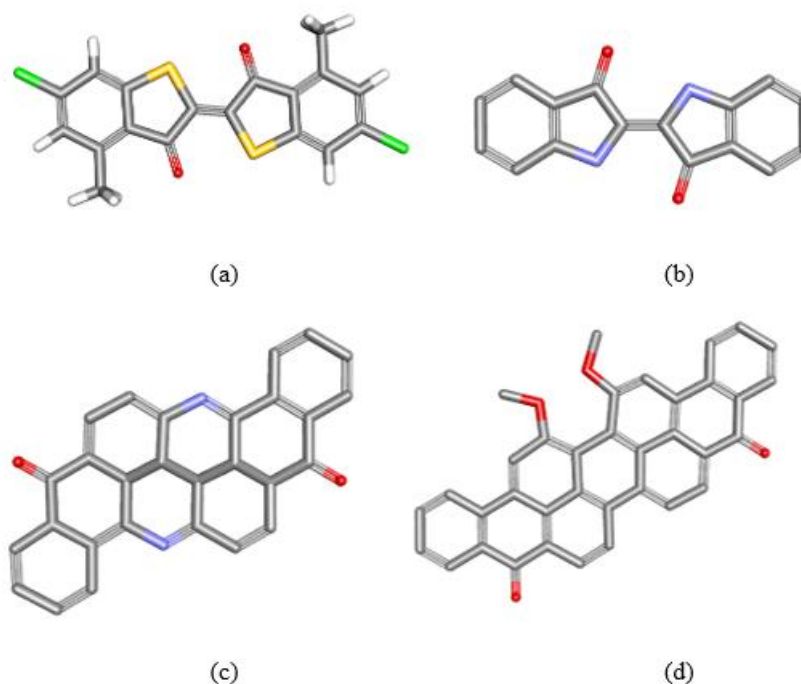


Figure 1. The chemical structures of (a)VR1, (b) VB1, (c) VY1, and (d) VG1 (Carbon: grey; hydrogen: white; nitrogen: blue; oxygen: red; sulfur: yellow; chlorine: green).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The acute toxic effects were determined by predicted LD₅₀ values for vat dyes and were summarized in Table 1. According to the results from ProTox 3.0, the highest estimated LD₅₀ value for the VB1 vat dye was 32000 mg/kg, while the lowest LD₅₀ values belonging to VY1 and VG1 dyes were found to be 500 mg/kg and 671 mg/kg, respectively. The VB1 dye was

classified in predicted toxicity class 6 as relatively harmless. The other three vat dyes (VR1, VY1, and VG1) were slightly harmless and classified in the predicted toxicity class of 4.

Table 1. The predicted toxicological class of selected vat dyes using the ProTox 3.0

Vat Dyes	Predicted LD ₅₀ mg/kg	Predicted Toxicity Class	Prediction accuracy	octanol/water partition coefficient(logP)
VR1	1000	4	67%	6.10
VB1	32000	6	100%	3.09
VY1	500	4	67%	3.07
VG1	671	4	69%	8.18

Endpoints and organ toxicity identified the toxicological outcomes of vat dyes, and related data were presented in Tables 2 and 3. All four vat dyes were active in blood-brain barrier (BBB) permeability, indicating potential direct effects on nerve cells and causing neurotoxicity. The VR1 vat dye was ecotoxic and posed potential ecological and health risks, while the VB1, VY1, and VG1 dyes were inactive in terms of ecotoxicity. In contrast, VB1, VY1, and VG1 dyes exhibited mutagenic activity, indicating the potential for genetic mutations and associated health risks. Both VR1 and VB1 dyes were nutritionally toxic, which addressed the possibility of contaminated food. VB1 dye was found to be active in terms of carcinogenic effects, providing potential cancer development risk assessments. All dyes were found to be inactive regarding the cardiovascular toxicity related to cardiovascular risks.

Table 2. The predicted toxicity endpoints of vat dyes

Vat Dyes	Toxicity Endpoints						Nutritional toxicity
	Immunotoxicity	Mutagenicity	Cytotoxicity	BBB	Ecotoxicity	Clinical toxicity	
VR1	Inactive	Inactive	Inactive	Active	Active	Inactive	Active
VB1	Inactive	Active	Inactive	Active	Inactive	Active	Active
VY1	Active	Active	Inactive	Active	Inactive	Inactive	Inactive
VG1	Active	Active	Inactive	Active	Inactive	Inactive	Inactive

Table 3. The predicted organ toxicity of vat dyes

Vat Dyes	Organ Toxicity					
	Hepatotoxicity	Neurotoxicity	Nephrotoxicity	Respiratory toxicity	Cardiotoxicity	Carcinogenicity
VR1	Active	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive	Inactive
VB1	Active	Active	Inactive	Active	Inactive	Active
VY1	Inactive	Active	Inactive	Active	Inactive	Inactive
VG1	Inactive	Inactive	Active	Active	Inactive	Inactive

4. CONCLUSION

The predicted toxicity profile of four vat dyes (VR1, VB1, VY1, and VG1) was evaluated by using an *in silico* method. The selected key endpoints, including immunotoxicity, mutagenicity, cytotoxicity, BBB permeability, ecotoxicity, clinical toxicity, and nutritional toxicity, were used to provide a comprehensive approach to the potential toxicological profile and risks of vat dyes. Based on the results of ProTox 3.0, three vat dyes (VR1, VY1, and VG1) were slightly harmless and classified in predicted toxicity class 4, while VB1 dye was classified in predicted toxicity class 6 as relatively harmless. VB1, VY1, and VG1 dyes represented mutagenic activity, whereas VB1 dye was carcinogenic.

REFERENCES

- Banerjee, P., Kemmler, E., Dunkel, M., & Preissner, R. (2024). ProTox 3.0: a webserver for the prediction of toxicity of chemicals. *Nucleic Acids Research*, 52(W1), W513–W520. <https://doi.org/10.1093/nar/gkae303>
- Božič, M., & Kokol, V. (2008). Ecological alternatives to the reduction and oxidation processes in dyeing with vat and sulphur dyes. *Dyes and Pigments*, 76(2), 299–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2006.05.041>
- Khattab, T. A., Abdelrahman, M. S., & Rehan, M. (2020). Textile dyeing industry: environmental impacts and remediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3803–3818. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07137-z>
- Nayfert, S. A., Sakthidharan, C. P., Dorovatovsky, P. V., Efremov, A. N., Osipov, A. A., Rajakumar, K., & Zhrebtsov, D. A. (2024). Structure of four vat dyes and of violanthrene. *Dyes and Pigments*, 222, 111839. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2023.111839>
- Sutlović, A., Glogar, M. I., Čorak, I., & Tarbuk, A. (2021). Trichromatic Vat Dyeing of Cationized Cotton. *Materials*, 14(19), 5731. <https://www.mdpi.com/1996-1944/14/19/5731>
- Turkten, N., Karatas, Y., Kurumoglu, S., & Yalcin Gurkan, Y. (2025). Enhanced photocatalytic degradation of diazo reactive blue 198 using ternary PANI-TiO₂-CuO composites: Predicted degradation pathway, mechanism, and DFT calculations. *Physica B: Condensed Matter*, 717, 417802. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.physb.2025.417802>
- Yang, Z., Shen, W., Chen, Q., & Wang, W. (2021). Direct electrochemical reduction and dyeing properties of CI Vat Yellow 1 using carbon felt electrode. *Dyes and Pigments*, 184, 108835. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2020.108835>

THE EVALUATION OF FLOWER YIELD IN SOME SAFFLOWER (*CARTHAMUS TINCTORIUS* L.) CULTIVARS GROWN IN SEMI-ARID CONDITIONS

Prof. Dr. Belgin COŞGE ŞENKAL ¹

¹ Yozgat Bozok University, Agricultural Faculty,
belgin.senkal@yobu.edu.tr – 0000-0001-7330-8098

ABSTRACT

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oilseed crop from the Asteraceae family cultivated worldwide. Its deep-growing root structure makes it highly resistant to drought. Safflower petals are used as food colorants due to their pigments. The capitulum contains flowers of various colors, including white, yellow, orange, and red. Global demand for natural colorants is increasing. Therefore, color pigments obtained from safflower flowers have significant potential as natural colorants in the food industry. This study was conducted using seven safflower cultivars in Yozgat ecological conditions using a randomized complete block design with three replications. Flower yield per plant for cultivars grown without irrigation ranged from 0.11 to 1.20 g. The highest flower yield was obtained from the Linas cultivar. According to literature data, safflower flower yield averages 70-140 kg/ha, and it is reported that flower yield is affected by genotype and growing conditions. The findings indicate that safflower cultivation for flower production can be implemented in Yozgat and similar ecological conditions. However, trials in different locations are needed to determine the appropriate genotype(s) and appropriate cultural practices.

Key Words: Safflower, variety, flower yield.

1. INTRODUCTION

Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oilseed crop from the Asteraceae family cultivated worldwide. Its deep-rooted root structure makes it highly resistant to drought. Its high tolerance to both cold and heat make it an alternative crop suitable for dryland farming (Emongor, 2010; Hussain et al., 2016).

Safflower, an ancient oil seed crop, is cultivated for oil production, medicinal applications, bird seed, food coloring derived from its flowers, and traditional medicine (Sabaghnia et al., 2024). The oil obtained from its seeds is used in food, industrial purposes, and biodiesel production (Ilkılıç et al., 2011). Flower receptacles contain flowers of various colors, including white, yellow, orange, and red. Safflower petals are among the plants used as food colorants due to their pigment content. Carthamin, derived from safflower flowers, is of great importance as a natural dye (Jadhav and Joshi, 2015; Pu et al., 2021).

Global demand for natural colorants is on the rise. Therefore, color pigments derived from safflower flowers have significant potential as natural colorants in the food industry. Furthermore, extracts from safflower flowers exhibit a wide range of biological activities (Salem et al., 2014; Erbaş and Mutlucan, 2023). Flowers are also rich in protein, calcium, magnesium, and potassium. Therefore, herbal tea made from flower petals is particularly popular in China and India (Yin et al., 2024).

The flavonoid and phenolic compounds in the flowers increase antioxidant capacity, providing an advantage in functional food production. Extracts obtained from safflower flowers are used as natural colorants, particularly in dairy products, beverages, confectionery, baked goods, and sauces. Dried safflower flowers are included in spice blends. Due to their flavor and aroma, they are preferred as "false saffron" in rice, soup, and meat dishes (Emongor, 2010). They are also used in folk medicine for many illnesses and conditions (whooping cough, chronic bronchitis, and pneumonia, among others) (Delshad et al., 2018). Safflower flowers are used in medicine, cosmetics, food, textiles, and carpet coloring (Emongor, 2010).

This study was conducted to determine the petal yields of safflower cultivars grown in semi-arid climates.

2. MATERIALS AND METHODS

Trial sowing was carried out on April 22, 2025, in the Divanlı area of the Yozgat Bozok University Agricultural Application and Research Center. The experiment was set up in a randomized complete block design with three replications. Seven safflower cultivars (Linax,

Olas, Dinçer, Koç, Yekta, Balcı, and Zirkon) were used as plant material in the experiment. The number of rows in the plots was four, with 30 cm row spacing and 5 cm row spacing. Weed control was done manually. No irrigation or fertilization was applied. For flower harvest, 10 plants were taken from each plot on August 6, 2025. Flowers from each variety were collected from the plants and allowed to dry at room temperature. Each flower was weighed individually on a precision scale on August 15, 2025. The data obtained were subjected to variance analysis using the TARIST package program and the differences between the means were determined by the Least Significant Difference (LSD) test.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The variance analysis results for the flower yield of the seven safflower cultivars included in the study are presented in Table 1, and the mean flower yield values and difference groupings are presented in Table 2.

Table 1. Variance Analysis Results for Flower Yield Obtained from Safflower Varieties

Sources of Variation	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Squares	Calculated F
Recurrence	2	0.023	0.012	0.815ns
Cultivar	6	0.754	0.126	8.722**
ERROR	12	0.173	0.014	
General	20	0.951	0.048	

** Statistically significant at the 1% level

ns: Not statistically significant

According to the results of the variance analysis, statistical significance was recorded at the 0.01 level between the flower yield values of the cultivars (Table 1). The highest flower yield was obtained from the Linas and Koç cultivars, followed by Dinçer and Olas. These four cultivars were statistically included in the same group. The lowest flower yield was recorded in the cv. Balcı (Table 2).

Table 2. Grouping of Safflower Cultivars by Flower Yield Averages

CULTIVARS	FLOWER YIELD (g/plant)
LİNAS	0.927 ^{A1*}
KOÇ	0.927 ^{A1}
DİNÇER	0.913 ^{A12}
OLAS	0.910 ^{A12}
YEKTA	0.820 ^{AB12}
ZİRKON	0.620 ^{B23}
BALCI	0.397 ^{C3}
Mean Square Error	0.014
LSD _(0.05)	0.214
LSD _(0.01)	0.299

* Differences between means indicated by the same letter are statistically insignificant. Letters indicate a 5% significance level; numbers indicate a 1% significance level.

In a study conducted by Doğan (2021) with five safflower cultivars (Safir, Koç, Koç, Balcı, and Dinçer) under dry and irrigated conditions in Şanlıurfa's ecological conditions, the difference between cultivars and irrigation practices was found to be statistically insignificant. The average petal yield of the safflower cultivars included in the study was 0.49 g/plant under dry conditions and 0.53 g/plant under irrigated conditions. Safir yielded 0.43 and 0.54 g/plant, Koç yielded 0.38-0.50 g/plant, Koç yielded 0.55-0.44 g/plant, Balcı yielded 0.44-0.53 g/plant, and Dinçer yielded 0.67-0.64 g/plant under irrigated and dry conditions, respectively. In studies conducted, different petal yields were obtained from safflower genotypes depending on the harvest time (Omidi and Sharifmoghaddasi, 2010). Emongor et al. (2024) stated that petal yield varied between 90.3-98.3 kg/ha and 108-117 kg/ha in summer and winter sowings, respectively, depending on the genotype and harvest time. A high number of capitulum per plant positively affected petal yield (Emongor et al., 2024). Irrigation increased petal yield. While petal yields were 12-150 kg/ha in non-irrigated plants, this value varied between 180-250 kg/ha in irrigated plants (Omidi and Sharifmoghaddasi, 2010). In a study conducted in Germany with two safflower cultivars, two different row spacings (12 cm and 33 cm) and two different sowing

density (40 plants/m² and 75 plants/m²) were used. In a two-year study, harvesting two or three weeks after flowering at a sowing density of 40 plants/m² yielded the highest flower yield (Steberl et al., 2020). Safflower petal yields have been reported to vary between 2.00 and 648.00 kg/ha depending on the year, cultivar, time of leaf harvest, and sowing density (Hamza, 2015; Mohammadi and Tavakoli, 2015; Emongor et al., 2024). Flower yields obtained in this study ranged from 264.7 to 618 kg/ha (Figure 1). On the other hand, spiny also affected flower yield. Spiny safflower cultivars were found to have lower petal yields than spineless cultivars (Emongor et al., 2024).

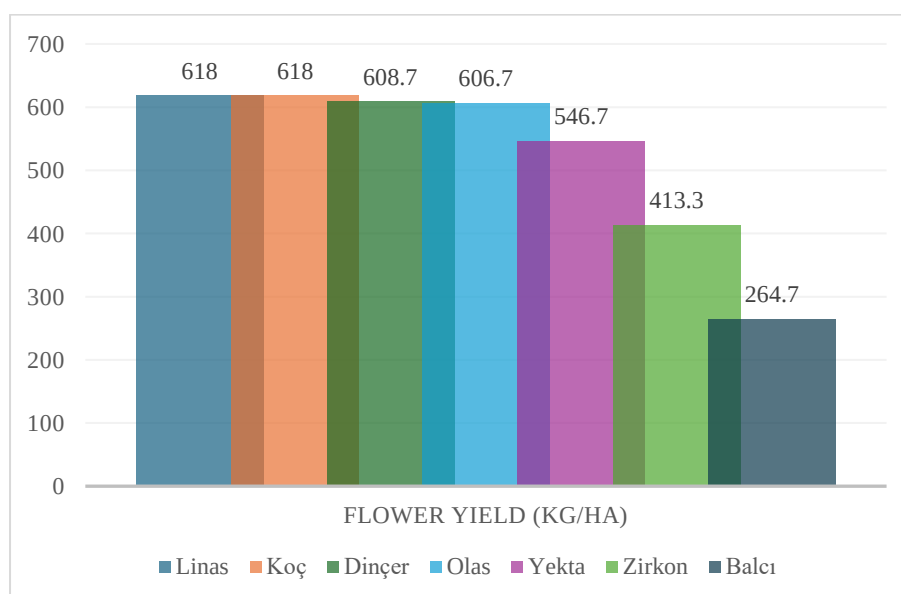


Figure 1. Flower Yields of Safflower Cultivars (kg/ha)

4. CONCLUSION

According to literature data, safflower flower yields average between 2-648 kg/ha, and it is reported that flower yield is affected by genotype and growing conditions. The flower yields obtained (264.7-618.0 kg/ha) indicate that safflower cultivation for flower production can be implemented in Yozgat and similar ecological conditions. However, trials in different locations are needed to determine the appropriate genotype(s) and appropriate cultural practices.

REFERENCES

Delshad, E., Yousefi, M., Sasannezhad, P., Rakhshandeh, H., Ayati, Z., Medical uses of *Carthamus tinctorius* L. (Safflower): a comprehensive review from Traditional Medicine to Modern Medicine, *Electronic Physician*, 10, 6672-6681, 2018.

Doğan, L., *Şanlıurfa Ekolojik Koşullarında Bazı Aspir (Carthamus tinctorius L.) Çeşitlerinin Kuru ve Sulu Koşullarda Verim, Verim Unsurları ve Yağ Oranlarının Belirlenmesi*, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2021.

Emongor, V., Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) the Underutilized and Neglected Crop: A Review. *Asian Journal of Plant Sciences*, 9:299-306, 2010.

Emongor, V.E., Setshogela, P.B., Tiroesele, B., Influence of Genotype and Time of Harvest on Flores Yield, Carthamin and Carthamidin Contents, and Dye Index of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.), *Journal of Medicinal Plants Studies*, 12,111-122, 2024.

Erbaş, S., Mutlucan, M., Investigation of Flower Yield and Quality in Different Color Safflower Genotypes, *Agronomy*, 13, 956, 2023.

Hamza, M., Influence of Different Plant Densities on Crop Yield of Six Safflower Genotypes under Egyptian Newly Reclaimed Soil Conditions, *Int. J Agric Crop Sci*, 8,168-173, 2015.

Hussain, M.I., Lyra, DA., Farooq, M., Nikoloudakis, N., Khalid, N. Salt and drought stresses in Safflower: A Review, *Agron Sustain Dev*, 36, 4, 2016.

İlkılıç, C., Aydın, S., Behcet, R., Aydın, H., Biodiesel from Safflower Oil and its Application in a Diesel Engine, *Fuel Processing Technology*,92,356-362,2011.

Jadhav, B., Joshi, A. Extraction and Quantitative Estimation of Bio Active Component (Yellow and Red Carthamin) from Dried Safflower Petals. *Indian Journal of Science and Technology*, 8,16, 2015.

Mohammadi, M., Tavakoli, A., Effect of Harvest Time of Spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Florets on the Production of Red and Yellow Pigments, *QAS Crops Foods*,7, 581-588, 2015.

Omidi, A.H., Sharifmoghaddasi, M., Study of Safflower Varieties for Flower and Grain Yields and Fatty Acids Composition, *Adv Environ Biol*,4, 524-527, 2010.

Pu, Z.J., Zhang, S., Tang, Y.P., Shi, X.Q., Tao, H.J., Yan, H., Chen, J.Q., Yue, S.J., Chen, Y.Y., Zhu, Z.H., Zhou, G.S., Su, S.L., Duan, J.A., Study on Changes in Pigment Composition During the Blooming Period of Safflower Based on Plant Metabolomics and Semi-Quantitative Analysis, *J Sep Sci*, 44,4082-4091, 2021.

Sabaghnia, N., Ebrahimi, H., Janmohammdi, M., Genetic Variation Among Diverse Safflower Genotypes for Some Agro-Morphological Traits, *OCL*, 31,17, 2024.

Salem, N., Msaada, K., Elkahoui, S., Mangano, G., Azaeiz, S., Ben Slimen, I., Kefi, S., Pintore, G., Limam, F., Marzouk, B., Evaluation of antibacterial, antifungal, and antioxidant activities of safflower natural dyes during flowering, *BioMed Research International*, 762397, 2014.

Steberl, K., Hartung, J., Munz, S., Graeff-Hönniger, S., Effect of Row Spacing, Sowing Density, and Harvest Time on Floret Yield and Yield Components of Two Safflower Cultivars Grown in Southwestern Germany, *Agronomy*,10,664, 2020.

Yin C., Fang R., Xu Y., Li K., Ai T., Wan J., Qin Y., Lyu X., Liu H., Qin R., Yang L., Xiong H., Liu, J., Safflower Petal Water-Extract Consumption Reduces Blood Glucose via Modulating Hepatic Gluconeogenesis and Gut Microbiota, *Journal of Functional Foods*, 123, 106615, 2024.

İNEK SÜTÜNDE GÜNCEL, UYGULANABİLİR VE YÜKSEK HASSASİYETLİ ICP-MS YÖNTEMİ İLE ELEMENT ANALİZİ

Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN¹, Doç. Dr. NİLGÜN PAKSOY²

¹ Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı,
skilicaltun@harran.edu.tr- ORCID: 0000-0002-4203-2508

² Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı,
nilgunpaksoy@harran.edu.tr- ORCID:0000-0001-6231-5524

ÖZET

Bu çalışma, sürdürülebilir gıda güvenliğine katkı sağlamak amacıyla, inek sütünde bulunan makro ve mikro elementlerin yüksek hassasiyetli ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi) yöntemi ile güncel, güvenilir ve uygulanabilir şekilde analiz edilmesini hedeflemektedir. Marketlerden temin edilen çiğ inek sütü örnekleri, mikrodalga destekli asit sindirimi sonrası ICP-MS ile incelenmiş; Na (Sodyum), K (Potasyum), Ca (Kalsiyum), Mg (Magnezyum), Zn (Çinko), Cu (Bakır), Mn (Mangan Fe (Demir), Co (Kobalt), Se (Selenyum), Ni (Nikel), Cr (Krom) ve Ti (Titanyum) gibi elementlerin konsantrasyon aralıkları ve ortalama değerleri belirlenmiştir. Analiz yöntemi; düşük tespit sınırı (LOD), yüksek geri kazanım oranları ve tekrarlanabilirliği ile dikkat çekmektedir. Bulgular, sütteki bazı iz elementlerin tespit edilebilir seviyelerde olduğunu ortaya koyarken; As (Arsenik), Cd (Kadmiyum) Pb (Kurşun) ve Tl (Talyum) gibi toksik elementler <LOD değerinde bulunmuştur. Bu durum, analiz edilen süt örneklerinin tüketim açısından güvenli olduğunu göstermektedir. Çalışma; gıda analizinde kullanılabilecek sürdürülebilir ve çevre dostu yöntemlerin teşviki açısından önem arz etmekte olup, hem akademik hem de endüstriyel uygulamalar için örnek teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnek sütü, ICP-MS, Element

ABSTRACT

This study aims to contribute to sustainable food safety by analyzing macro- and micro-elements in cow's milk using a current, reliable, and highly sensitive ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry) method. Raw cow milk samples obtained from local markets were subjected to microwave-assisted acid digestion prior to ICP-MS analysis. Concentration ranges and mean values of elements such as Na (Sodium), K (Potassium), Ca (Calcium), Mg (Magnesium), Zn (Zinc), Cu (Copper), Mn (Manganese), Fe (Iron), Co (Cobalt), Se (Selenium), Ni (Nickel), Cr (Chromium) and Ti (Titanium) were determined. The method demonstrated excellent analytical performance with low detection limits (LOD), high recovery rates, and strong repeatability. While some trace elements were present at detectable levels, toxic elements such as As (Arsenic), Cd (Cadmium), Pb (Lead) and Tl (Thallium) were below the LOD, indicating that the milk samples analyzed were safe for consumption. This study emphasizes the importance of implementing sustainable and environmentally friendly analytical techniques in food analysis, providing a valuable reference for both academic research and industrial applications.

Keywords: Cow milk, ICP-MS, Element

1.GİRİŞ

Süt, insan beslenmesinde temel bir rol oynayan ve doğrudan biyolojik değeri yüksek besin öğeleri içeren kompleks bir sıvıdır. Özellikle inek sütü, dünya genelinde yaygın tüketimi nedeniyle hem bireysel beslenme hem de gıda endüstrisi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Bu biyolojik sıvı; karbonhidrat, protein ve lipidlerin yanı sıra, insan vücudunun düzenli işleyişi için gerekli olan çok sayıda mineral elementi de içermektedir [1]. Süt içerisindeki bu mineral maddeler, sadece besinsel açıdan değil, aynı zamanda fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerdeki işlevleri bakımından da dikkatle incelenmesi gereken bileşenlerdir.

İnek sütünde bulunan mineraller, genellikle makro ve mikro elementler olarak sınıflandırılır. Kalsiyum, fosfor, potasyum, magnezyum ve sodyum gibi makro mineraller, yüksek miktarlarda bulunmaları nedeniyle süt içerisinde daha belirgin bir rol üstlenirken; demir, çinko, bakır, iyot ve selenyum gibi mikro elementler düşük konsantrasyonlarda yer alsalar da, vücut fonksiyonlarının sağlıklı yürütülmesinde kritik öneme sahiptir [2]. Bu elementler; kemik ve diş sağlığının korunması, sinir ve kas sistemlerinin düzenlenmesi, hücrel metabolizma ve bağışıklık yanıtlarının desteklenmesi gibi birçok temel fizyolojik sürece doğrudan katkı sağlar [3].

Minerallerin süt içerisindeki varlığı, yalnızca içerik olarak değil, biyoyararlanım düzeyleri bakımından da değerlendirilmelidir. Bazı elementler, süt içerisindeki diğer bileşenlerle etkileşime girerek emilim açısından avantaj sağlarken, bazıları ise organik ya da inorganik formlarına bağlı olarak düşük emilim oranlarına sahip olabilir [4]. Örneğin, süt içerisindeki kalsiyum ve fosfor oranı, insan vücudunun bu elementleri verimli bir şekilde kullanmasına olanak tanırken; demir gibi bazı elementlerin emilimi sınırlı olabilmektedir [1]. Bu nedenle, sütü sadece mineral deposu olarak değil, aynı zamanda bu minerallerin fonksiyonel etkinliğini artıran bir taşıyıcı sistem olarak değerlendirmek gerekir.

İnek sütünün mineral içeriği, birçok çevresel ve biyolojik faktöre bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Hayvanın türü, yaşı, laktasyon dönemi, beslenme şekli, yaşadığı çevresel koşullar ve hatta sağım teknikleri gibi değişkenler, süt bileşimini doğrudan etkilemektedir [5].

Günümüzde özellikle çocuklar, yaşlı bireyler, hamile ve emziren kadınlar gibi özel gereksinimleri olan grupların beslenmesinde süt ve süt ürünleri önemli bir yer tutmaktadır. Bu bağlamda, inek sütünün içerdiği mineral maddelerin niceliksel ve niteliksel özelliklerinin detaylı şekilde incelenmesi; hem halk sağlığı hem de gıda güvenliği açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Aynı zamanda, bu bileşenlerin biyolojik işlevleri hakkında daha derinlemesine bilgi sahibi olunması, beslenme stratejilerinin geliştirilmesi ve fonksiyonel gıda üretimi açısından da yol gösterici olacaktır.

Bu çalışmada, inek sütünde bulunan mineral elementlerin genel bileşimi, biyoyararlanımları ve fonksiyonel rollerine dair güncel bilgiler ortaya konulacak; ayrıca süt bileşiminde etkili olan çevresel, fizyolojik ve teknolojik faktörler değerlendirilecektir. Bu kapsamda yapılan analizlerle, sütün mineral kalitesinin artırılmasına yönelik potansiyel uygulamalar da bilimsel çerçevede tartışılacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Kimyasallar ve Reaktifler

Bu çalışmada, inek sütü örneklerinin element analizlerinde kullanılmak üzere yüksek saflıkta kimyasallar ve analiz standartları tercih edilmiştir. Numune çözümleme işlemleri için kullanılan tüm çözeltiler, laboratuvar ortamında 25 °C sıcaklıkta 18.2 MΩ.cm dirençte ultra saf su (MES MP Minipure, Türkiye) kullanılarak hazırlanmıştır. Cam ve plastik laboratuvar malzemeleri, herhangi bir kontaminasyonu önlemek amacıyla, %5'lik (v/v) analitik saflıkta nitrik asit (HNO₃) çözeltisinde 24 saat bekletilmiş, ardından ultra saf su ile iyice durulanmış ve kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Element analizlerde kullanılacak kalibrasyon standartları, farklı konsantrasyon aralıklarında hazırlanmış olup, çok elementli stok çözeltiler (Agilent Japonya, Parti numarası: 10-160YPY2) kullanılarak seyreltme yöntemiyle elde edilmiştir. Bu standartlar arasında Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Se, Ni, Cr, Ti, As, Cd, Pb ve Tl yer almaktadır. Her bir elementin stok çözeltisi, üretici firma tarafından sağlanan sertifikalı konsantrasyonlar dikkate alınarak % 2'lik (v/v) nitrik asit içerisinde hazırlanmıştır.

Numune yakma işlemleri için % 65 oranında derişik nitrik asit (Merck, Almanya) ve % 30'luk hidrojen peroksit (H₂O₂) (Merck, Almanya) kullanılmıştır. Bu reaktifler, organik matriksin parçalanmasını ve elementlerin analiz için uygun hale getirilmesini sağlamak amacıyla mikrodalga destekli asit yakma yönteminde kullanılmıştır.

Gaz kaynağı olarak, plazma sistemlerinde taşıyıcı ve nebulizasyon gazı görevini gören % 99.999 safiyette argon gazı (Linde Grup, Türkiye) tercih edilmiştir. Tüm çözeltiler, analiz öncesi yeni hazırlanmış ve kontaminasyon riskine karşı kapalı sistemlerde saklanmıştır.

2.2. Numune Hazırlığı

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı yerel marketlerden temin edilen çiğ inek sütü örnekleri kullanılmıştır. Satın alınan her bir süt örneği, steril polietilen kaplara alınarak buz aküleri eşliğinde laboratuvara ulaştırılmış ve analiz yapılana dek -20 °C'de muhafaza edilmiştir.

Örneklerin element analizleri öncesinde mikrodalga destekli asit yakma yöntemi uygulanmıştır. Her bir süt örneğinden 5.0 mL alınarak PTFE yakma kaplarına aktarılmış, üzerine 4.0 mL % 65 (v/v) HNO₃ (Merck, Almanya) ve 1.0 mL % 30 (v/v) H₂O₂ (Merck, Almanya) eklenmiştir. Yakma işlemi, mikrodalga yakma cihazında (MARS xpress, CEM) aşağıdaki program doğrultusunda gerçekleştirilmiştir:

120 °C'ye 5 dakikada ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

160 °C'ye 5 dakikada ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

190 °C 20 dakika ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

Son olarak 60 dakika ortam sıcaklığında soğutma.

Yakma sonrasında her bir numune 50 mL'ye tamamlanacak şekilde ultra saf su ile seyreltilmiştir. Aynı prosedür boş (blank) örnekler için de uygulanmıştır.

2.3. Cihaz ve Kalibrasyon Çözeltileri

Element analizleri, ICP-MS (Agilent 7500, Japonya) cihazı ile önceki çalışmamızda kullanılan metod modifiye edilerek gerçekleştirilmiştir [6]. Cihazda kullanılan taşıyıcı gaz olarak %99.999 safiyetinde Argon gazı (Linde Gaz, Türkiye) kullanılmıştır. Tüm çözelti hazırlıkları ultra saf su kullanılarak yapılmış ve kullanılan cam/ plastik malzemeler %5'lik HNO₃ çözeltisinde 24 saat bekletilip ultra saf su ile durulandıktan sonra kurutulmuştur.

Kalibrasyon için tek ve çok elementli stok standart çözeltiler kullanılmış, bunlar ihtiyaç duyulan konsantrasyon aralıklarında ultra saf su ve HNO₃ ile seyreltilerek çalışma standartları hazırlanmıştır. Na, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Se, Ni, Cr, Ti, As, Cd, Pb ve Tl elementleri için kalibrasyon aralıkları 0.1–2000 mg/L olacak şekilde ayarlanmıştır. Cihazın sapma göstermemesi amacıyla her 10 numunede bir kalibrasyon standartları yeniden çalıştırılmıştır.

2.4. Kalite Kontrol ve Doğrulama

Metodun doğruluğunu ve güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla yöntem validasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, her bir element için deteksiyon limiti (LOD) ve nicelik sınırı(LOQ) değerleri hesaplanmıştır. Analiz edilen elementler için geri kazanım deneyleri yapılmış, ham süt örneklerine bilinen konsantrasyonda standart çözelti eklenmiş ve aynı yakma protokolü ile işlenmiştir. Geri kazanım oranları %92.6 ile %123.9 arasında değişmiştir. Ayrıca, sertifikalı referans materyal (NIST SRM 8435) ile yöntem doğruluğu kontrol edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı farklılık gözlenmemiştir ($P > 0.05$).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı yerel marketlerinden temin edilen çiğ inek sütü örneklerinin makro ve mikro element içerikleri ICP-MS (İndüktif Eşleşmeli Plazma - Kütle Spektrometrisi) kullanılarak analiz edilmiştir. Bulgular, sütteki temel makro minerallerin yanı sıra çeşitli eser elementlerin düzeylerini ve dağılımlarını kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1. İnek sütünün 17 elementine ait minimum-maksimum ve ortalama değerleri ve izotoplar

Element	Min-Max	Ortalama±SD	İzotoplar
Na (ppm)	241.5-405.4	287.9±78.6	²³ Na ⁺
K (ppm)	376.7-517.8	458.6±59.6	³⁹ K ⁺
Ca (ppm)	1040-1317	1157±118	⁴⁴ Ca ⁺
Mg (ppm)	86.3-111.7	95.5±11.3	²⁴ Mg ⁺
Zn (ppb)	935.6-2078	1655±311.4	⁶⁶ Zn ⁺
Cu (ppb)	115.1-158.3	139.1±20.2	⁶³ Cu ⁺
Mn (ppb)	22.26-37.38	28.14±6.68	⁵⁵ Mn ⁺
Fe (ppm)	0.634-1.513	0.953±0.407	⁵⁶ Fe ⁺
Co (ppb)	13.06-16.04	14.07±1.34	⁵⁹ Co ⁺
Se (ppb)	245.3-292.8	269.5±19.4	⁷⁸ Se ⁺

Ni (ppb)	89.6-105.3	97.37±7.86	⁶⁰ Ni ⁺
Cr (ppb)	-	< LOD	⁵² Cr ⁺
Ti (ppb)	2.920-3.703	3.226±0.341	⁴⁸ Ti ⁺
As (ppb)	-	< LOD	⁷⁵ As ⁺
Cd (ppb)	-	< LOD	¹¹¹ Cd ⁺
Pb (ppb)	-	< LOD	²⁰⁶ Pb ⁺
Tl (ppb)	-	< LOD	²⁰⁵ Tl ⁺

Sodyum içeriği incelendiğinde, örneklerde 241.5 ile 405.4 ppm arasında değiştiği ve ortalama değerin 287.9 ± 78.6 ppm olduğu tespit edilmiştir. Bu değerler, inek sütünde yaygın olarak bildirilen literatür verileriyle uyumlu olup, hayvanın beslenme şekli, laktasyon dönemi ve çevresel koşullara bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Benzer şekilde, K düzeyleri 376.7-517.8 ppm aralığında ölçülmüş ve ortalama 458.6 ± 59.6 ppm olarak kaydedilmiştir. Potasyumun sütteki varlığı, hücre içi sıvı dengesinin korunmasında kritik rol oynamaktadır.

Kalsiyum içeriği örneklerde 1040–1317 ppm arasında değişirken, ortalama 1157 ± 118 ppm olarak bulunmuştur. Bu değer, literatürde bildirilen ortalama inek sütü kalsiyum düzeylerine (1213.78 mg/kg) oldukça yakındır [7]. Kalsiyum, sütün en yüksek konsantrasyona sahip minerallerinden biri olup, kemik gelişimi açısından özellikle çocuklar için önemli bir besin ögesidir. Magnezyum ise 86.3–111.7 ppm arasında ölçülmüş ve ortalama 95.5 ± 11.3 ppm olarak belirlenmiştir. Bu düzeyler, Polonya’da yapılan çalışmadaki Mg konsantrasyonları (96.5-103.4 ppm) ile benzer aralıkta yer almaktadır [8].

Eser elementlerden Zn düzeyi 935.6-2078 ppb arasında olup, ortalama 1655 ± 311.4 ppb olarak kaydedilmiştir. Çinko, bağışıklık sisteminin işlevselliğinde önemli rol oynayan bir mikro elementtir. Bakır düzeyinin ise 115.1-158.3 ppb aralığında olduğu ve ortalama değerin 139.1 ± 20.2 ppb olduğu tespit edilmiştir.

Demir içeriği 0.634–1.513 ppm arasında değişmekte olup ortalama 0.953 ± 0.407 ppm bulunmuştur. Yu ve ark.’nın (2024) inek sütünde Fe düzeylerinin düşük olduğu ve biyoyararlanımının sınırlı olduğu belirtilmektedir [9]. Mangan düzeyi ise 22.26-37.38 ppb aralığında ve ortalama 28.14 ± 6.68 ppb olarak bulunmuştur.

Kobalt içeriği 13.06–16.04 ppb arasında değişmiş ve ortalama 14.07 ± 1.34 ppb olarak hesaplanmıştır. Kobalt, B12 vitamini sentezinde dolaylı olarak rol oynamaktadır. Selenyum ise 245.3-292.8 ppb aralığında ve ortalama 269.5 ± 19.4 ppb düzeyinde tespit edilmiştir. Selenyumun antioksidan savunma sistemindeki işlevi nedeniyle bu düzeyler, sütün fonksiyonel gıda potansiyelini göstermektedir.

Nikel içeriği 89.6-105.3 ppb arasında olup ortalama 97.37 ± 7.86 ppb bulunmuştur. Nikelin biyolojik işlevi sınırlı olmakla birlikte, maruziyet düzeylerinin kontrolü açısından önem taşımaktadır.

Analizlerde As, Cd, Pb ve Tl gibi toksik elementlerin seviyeleri analiz limitinin altında (<LOD) kalmıştır. Bu durum, incelenen süt örneklerinin ağır metal kontaminasyonu açısından güvenli

sınırlar içinde olduğunu göstermektedir. Titanyum elementi ise 2.920-3.703 ppb, ortalama 3.226 ± 0.341 ppb olarak tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma çiğ inek sütünde bulunan makro ve mikro elementlerin düzeylerini kapsamlı şekilde ortaya koymuştur. Bulgular, sütün hem temel besin ögesi olarak önemini hem de potansiyel çevresel etkilerin analiz edilmesindeki rolünü vurgulamaktadır. Ayrıca, toksik elementlerin analiz limitinin altında bulunması, halk sağlığı açısından olumlu bir göstergedir. Ancak bazı elementlerde gözlenen yüksek varyasyon, süt bileşenlerinin birçok faktörden etkilenebileceğini ve üretim sürecinde standardizasyonun önemini göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, marketlerden temin edilen çiğ inek sütü örneklerinin mineral ve eser element içerikleri ICP-MS (İndüktif Eşleşmiş Plazma - Kütle Spektrometresi) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen veriler, inek sütünün yalnızca makro besin öğeleri açısından değil, aynı zamanda insan sağlığı için elzem olan çok sayıda mikro elementi de barındırdığını göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre; Na, K, Ca, Mg gibi makro mineraller sütte yüksek düzeylerde bulunmuş, bu da sütün günlük mineral gereksiniminin karşılanmasında önemli bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Özellikle Ca ve K değerleri, kemik sağlığı ve elektrolit dengesi açısından sütün önemini bir kez daha vurgulamıştır. Elde edilen Na ve Ca düzeyleri, literatürle uyumlu olarak, sütü bu minerallerin iyi bir kaynağı haline getirmektedir.

Çalışmada ayrıca Zn, Cu, Mn, Co, Ni ve Se gibi eser elementler de tespit edilmiştir. Bu elementler, düşük düzeyde bulunmalarına rağmen antioksidan savunma sistemleri, bağışıklık yanıtları ve enzimatik reaksiyonlar açısından yaşamsal öneme sahiptir. Demir düzeyleri ise sınırlı olmakla birlikte, süt içerisinde bulunan demirin biyoyararlanımının düşüklüğü nedeniyle özellikle bebek ve küçük çocuk beslenmesinde bu durumun dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Bununla birlikte Pb, As, Cd ve Tl gibi toksik elementler, çalışmada kullanılan yöntem ile belirlenebilirlik sınırının altında bulunmuştur. Bu sonuç, incelenen süt örneklerinin halk sağlığı açısından ağır metal bulaşları yönünden güvenli düzeyde olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma; inek sütünün değerli bir mineral ve eser element kaynağı olduğunu, ancak içerdiği element profiline çevresel, biyolojik ve teknolojik faktörlerin önemli ölçüde etki ettiğini ortaya koymaktadır. Mineral düzeylerindeki varyasyonlar, hayvan beslenmesi, laktasyon evresi, sağım koşulları ve çevresel kirleticiler gibi birçok değişkenle ilişkili olabileceğinden, bu alanlarda izlenebilirliğin artırılması ve kalite kontrol süreçlerinin güçlendirilmesi gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların; farklı coğrafi bölgelerden toplanacak geniş örneklem gruplarıyla, sezonluk değişimlerin ve yem kaynaklarının da göz önünde bulundurularak yürütülmesi, hem bilimsel hem de halk sağlığı açısından daha kapsamlı sonuçlar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Antunes, I. C., Bexiga, R., Pinto, C., Roseiro, L. C., & Quaresma, M. A. G. (2022). Cow's milk in human nutrition and the emergence of plant-based milk alternatives. *Foods*, 12(1), 99.
- [2] Voronina, O. A., Bogolyubova, N. V., & Zaitsev, S. Y. (2022). Mineral composition of cow milk—A mini review. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 57(4), 681-693.
- [3] Prashanth, L., Kattapagari, K. K., Chitturi, R. T., Baddam, V. R. R., & Prasad, L. K. (2015). A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. YSR University of Health Sciences*, 4(2), 75-85.
- [4] Zamberlin, Š., Antunac, N., Havranek, J., & Samaržija, D. (2012). Mineral elements in milk and dairy products. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 62(2), 111-125.
- [5] Linn, J. G. (1988). Factors affecting the composition of milk from dairy cows. *Designing foods: Animal product options in the marketplace*, 224-241.
- [6] Kılıç Altun, S., Dinç, H., Temamoğulları, F. K., & Paksoy, N. (2018). Analyses of essential elements and heavy metals by using ICP-MS in maternal breast Milk from Şanlıurfa, Turkey. *International journal of analytical chemistry*, 2018(1), 1784073.
- [7] Liu, L., Yang, Z., Li, Y., Fan, Y., Chu, C., Wang, H., ... & Zhang, S. (2025). Mineral Profiles Characteristics in Milk from Dairy Cows in Xinjiang, China, and Production Plan for Season-Dependent High-Calcium Milk Sources. *Foods*, 14(11), 1841.
- [8] Nogalska, A., Momot, M., & Nogalski, Z. (2020). The mineral composition of milk from high-yielding dairy cows depending on the month of lactation and udder health. *Applied Sciences*, 10(14), 4803.
- [9] Yu, M., Li, B., Hong, T., Li, Z., Ru, X., Bian, W., ... & Han, J. (2024). Advancements in nutritional composition of milk and species identification. *Food Quality and Safety*, 8, fyae039

KOYUN VE EŞEK SÜTLERİNDE TİTANYUM VE KALSİYUM KONSANTRASYONLARININ ICP- MS İLE ANALİZİ

Prof. Dr. SERAP KILIÇ ALTUN¹, Doç. Dr. NİLGÜN PAKSOY²

¹ Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Gıda Hijyeni ve Teknolojisi Anabilim Dalı,
skilicaltun@harran.edu.tr- ORCID: 0000-0002-4203-2508

² Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Biyokimya Anabilim Dalı,
nilgunpaksoy@harran.edu.tr- ORCID:0000-0001-6231-5524

Özet

Bu çalışmada, koyun ve eşek sütlerinde titanyum (Ti) ve kalsiyum (Ca) seviyeleri araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, Şanlıurfa ilinde faaliyet gösteren perakende satış yapan aile işletmelerinden toplam 12 koyun sütü ve 10 eşek sütü örneği toplanmıştır. Örnekler ICP-MS cihazı ile analiz edilerek sütlerdeki Ti ve Ca konsantrasyonları belirlenmiştir. Koyun sütünde Ti konsantrasyonu ortalama 2.935 ± 0.729 ppb olarak bulunmuş ve örneklerin Ti düzeyi 1.665 ile 3.663 ppb arasında değişiklik göstermiştir. Eşek sütünde ise Ti konsantrasyonu ortalama 1.959 ± 0.273 ppb olup, ölçülen değerler 1.417–2.356 ppb aralığında dağılım göstermiştir. Bu bulgular, koyun sütünde Ti seviyelerinin eşek sütüne kıyasla daha yüksek ve değişken olduğunu göstermektedir. Kalsiyum düzeyleri incelendiğinde, koyun sütü ortalama 1046 ± 250 ppm olarak ölçülmüş, örnekler 611 ile 1394 ppm arasında değişiklik göstermiştir. Eşek sütünde ise Ca konsantrasyonu ortalama 676.5 ± 101.8 ppm olarak bulunmuş ve tüm örneklerin Ca düzeyleri 464.3–804.4 ppm aralığında kaydedilmiştir. Bu sonuçlar, kalsiyum açısından da koyun sütü ile eşek sütü arasında belirgin bir farklılık olduğunu ortaya koymaktadır. Koyun sütündeki hem Ti hem de Ca seviyelerinin daha yüksek ve değişken olması, türler arası mineral farklılıklarının önemini vurgulamaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle sütlerin besin değerlerinin değerlendirilmesinde ve insan beslenmesinde mineral alımının planlanmasında önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca, Ti gibi hafif bir elementin sütlerdeki düzeylerinin belirlenmesi, doğal ve çevresel kaynaklardan gelen mineral geçişlerinin izlenmesine de katkı sağlayabilir. Çalışma, her iki tür sütündeki mineral profillerinin karşılaştırılmasına ve sütlerin besin kalitesinin daha iyi anlaşılmasına yönelik temel veri sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: eşek sütü, koyun sütü, kalsiyum, titanyum, ICP-MS

1. GİRİŞ

Son yıllarda farklı memeli hayvanların sütlerinin besin değerleri ve potansiyel fonksiyonel gıdalar olarak kullanımı üzerine ilgi artmıştır. Geleneksel olarak inek sütü küresel tüketimde baskın olsa da, koyun ve eşek sütü, özellikle hipoalerjenik özellikleri, bölgesel üretim modelleri ve bebek beslenmesi gereksinimleri nedeniyle dikkat çekmektedir (Claeys ve ark., 2014). Türkiye’de koyun sütü, Güneydoğu Anadolu bölgesinde peynir yapımı için temel bir kaynaktır. Eşek sütü ise inek sütü protein alerjisi olan bebekler için alternatif olarak klinik çalışmalarda %80’in üzerinde tolerans göstermektedir (Polidori & Vincenzetti, 2013; Jirillo & Magrone, 2014). Şanlıurfa ili, karasal iklimi, geniş meraları ve küçük ölçekli hayvancılık sistemiyle süt

üretiminin yoğun olduğu bir ildir. Ancak, bu sütlerin mineral profilleri, özellikle iz elementler, bölgesel jeokimya dikkate alınarak yeterince incelenmemiştir.

Mineral içerikleri, sütlerin besin değerini doğrudan etkileyen kritik bileşenlerdir. Kalsiyum (Ca), kemik mineralizasyonu, sinir iletimi, kas kontraksiyonu ve enzimatik reaksiyonlar gibi temel fizyolojik süreçleri destekler (Güney, 2024). Koyun sütünde Ca içeriği genellikle 1200–1800 mg/L aralığında olup, yüksek kazein misel stabilitesi ve peynir randımanı ile ilişkilendirilir (de la Fuente & Juárez, 2015). Buna karşılık, eşek sütünde Ca seviyesi 600–800 mg/L civarında olup, inek sütüne göre %50–70 daha düşüktür (Fantuz ve ark., 2020). Bu farklılık, bebek formüllerinde Ca takviyesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şanlıurfa’da yapılan bir araştırmada toprakta Ca içeriği 1242 mg kg⁻¹ ile 8516 mg kg⁻¹ arasında rapor edilmiştir (Söylemez, ve ark., 2017). İlin toprağının bu jeokimyasal özelliği mera bitkilerinde ve dolayısıyla sütte Ca birikimini artırabilir.

Titanyum (Ti) ise esansiyel bir mineral olmamakla birlikte doğada her zaman diğer elementler ile bağlı bir şekilde bulunan ve yer kabuğunda dokuzuncu en bol bulunan elementtir (El Khalloufi ve ark., 2021). Gıda katkı maddesi olarak titanyum dioksit (TiO₂, E171) formunda yaygın kullanımı nedeniyle araştırmalara konusu olmuştur (Winkler ve ark., 2018) Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), 2021’de E171’in genotoksisite riski nedeniyle AB’de yasaklanmasını önermiştir (Ling ve ark., 2025). Literatürde, bu coğrafi bölgeden alınan çiğ koyun ve eşek sütlerinde Ti ve Ca konsantrasyonlarının eşzamanlı olarak ICP-MS ile karşılaştırıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı Şanlıurfa’dan toplanan çiğ koyun ve eşek sütlerinde Ti ve Ca konsantrasyonlarını ICP-MS ile belirlemektir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Süt Örneklerinin Toplanması

Çalışmada, Şanlıurfa ili merkez ve çevre ilçelerindeki küçük ölçekli işletmelerde satışa sunulan 12 adet çiğ koyun sütü (İvesi ırkı, laktasyon ortası) ve 10 adet çiğ eşek sütü (yerli ırk, laktasyon ortası) örnekleri toplanmıştır. Örnekler, steril 50 mL’lik Falcon tüplere alınmış, 2 saat içinde buz aküsü ile taşınarak laboratuvara ulaştırılmış ve –20°C’de analiz gününe kadar saklanmıştır.

2.2. Örnek Hazırlama ve Analiz

Süt örnekleri çözüldükten sonra homojenize edilmiş, 1,0 mL örnek mikrodalga yakma sisteminde (CEM Mars Xpress, ABD) sindirilmiştir. Sindirim işlemi için 4 mL %65’lik nitrik asit (HNO₃, Merck) ve 1 mL %30’luk hidrojen peroksit (H₂O₂, Merck) kullanılmıştır. Yakma programı:

120 °C’ye 5 dakikada ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

160 °C’ye 5 dakikada ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

190 °C 20 dakika ısıtma ve 5 dakika sabit sıcaklık,

Son olarak 60 dakika ortam sıcaklığında soğutma ve soğutma sonrası ultrapure su (18,2 MΩ·cm, Milli-Q) ile 50 mL’ye tamamlanma.

Boş (blank) ve standart referans materyal (NIST SRM 1549a – whole milk powder) her seri ile birlikte yakılmıştır. Element tayinleri ICP-MS (Agilent 7500, Japonya) ile gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Titanyum (Ti) Konsantrasyonları

Çiğ koyun sütü örneklerinde ($n = 12$) Ti konsantrasyonları 1,665 – 3,902 ppb aralığında değişmiştir. Eşek sütü örneklerinde ($n = 10$) Ti konsantrasyonları 1,417 – 2,356 ppb aralığında gözlenmiştir. Koyun sütü örneklerinin tamamı, eşek sütü örneklerinin tümünden daha yüksek Ti değerine sahiptir. Koyun sütündeki en düşük Ti (1,665 ppb), eşek sütündeki en yüksek Ti'den (2,356 ppb) daha düşüktür ($1,665 < 2,356$)(Tablo 1). Bu durum, iki tür arasında net bir ayrım olduğunu göstermektedir.

Koyun sütündeki yüksek Ti değerleri, hayvanların mera davranışlarıyla ilişkili olabilir. Koyunlar, toprakla daha fazla temas eden otları tüketebilir, bu da toz ve silt partiküllerinin alımıyla Ti geçişini artırabilir. Eşeklerin daha seçici otlama alışkanlıkları ise Ti alımını sınırlayabilir.

3.2. Kalsiyum (Ca) Konsantrasyonları

Koyun sütü örneklerinde Ca konsantrasyonları 611 – 1394 ppm aralığında değişim göstermiştir. Eşek sütü örneklerinde Ca konsantrasyonları 464,4 – 804,4 ppm aralığında ölçülmüştür. Koyun sütü örneklerinin en düşük Ca değeri (611 ppm), eşek sütü örneklerinin en yüksek Ca değerinden (804,4 ppm) daha yüksektir ($611 < 804,4$)(Tablo 1). Bu durum, iki tür arasında fark olduğunu ortaya koymaktadır.

Koyun sütünün yüksek Ca içeriği, literatürdeki verilerle uyumludur ve peynir yapımı için avantaj sağlar (Balthazar ve ark., 2017). Eşek sütünün daha düşük Ca içeriği ise, inek sütü protein alerjisi olan bebekler için alternatif olsa da, Ca takviyesi gerektiren formülasyonlar için dikkat çekicidir.

Tablo 1. Koyun ve eşek sütlerinin Ti (ppb) ve Ca (ppm) konsantrasyonları

Ti (ppb)			Ca (ppm)		
Örnek	Koyun sütü (n: 12)	Eşek sütü (n:10)	Örnek	Koyun sütü (n: 12)	Eşek sütü (n:10)
1	3.663	1.841	1	1298	603.4
2	3.436	1.823	2	1232	621.9
3	2.570	1.855	3	909	670.9
4	3.902	2.179	4	1394	749.9
5	2.669	1.980	5	948	707.9
6	1.898	2.095	6	700	749.9
7	3.120	1.796	7	1097	621.4
8	2.698	2.356	8	958	804.4
9	3.690	1.417	9	1299	464.4

10	1.665	2.248	10	611	770.4
11	2.422		11	884	
12	3.492		12	1216	

Koyun sütünde Ti konsantrasyonu ortalama $\pm$ standart sapma (SD) değeri 2.935 ± 0.729 ppb olarak bulunmuştur ($n = 12$). Eşek sütünde ise Ti ortalama $\pm$ SD değeri 1.959 ± 0.273 ppb olarak ölçülmüştür ($n = 10$). Kalsiyum (Ca), koyun sütünde ortalama $\pm$ SD 1046 ± 250 ppm, eşek sütünde ise ortalama $\pm$ SD 676.5 ± 101.8 ppm olarak belirlenmiştir. Bu veriler, koyun sütündeki Ti ve Ca düzeylerinin eşek sütüne göre daha yüksek olduğunu göstermektedir; Ti açısından fark daha belirgin, Ca açısından ise yaklaşık %50–60 oranında bir farklılık gözlenmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Koyun ve eşek sütünün minimum, maksimum ve ortalama Ti ve Ca değerleri

Ti (ppb)	Minimum - Maximum	Mean $\pm$ SD
Koyun sütü (n:12)	1.665 – 3.663	2.935 ± 0.729
Eşek sütü (n:10)	1.417 – 2.356	1.959 ± 0.273

Ca (ppm)	Minimum - Maximum	Mean $\pm$ SD
Koyun sütü	611 – 1394	1046 ± 250
Eşek sütü	464.3 – 804.4	676.5 ± 101.8

3.3. Ti ve Ca Arasındaki İlişki

Örnekler ayrı ayrı incelendiğinde, Ti ve Ca değerleri arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir. Koyun sütünde yüksek Ti (ör. 3,902 ppb) ile düşük Ca (948 ppm) veya düşük Ti (1,665 ppb) ile düşük Ca (611 ppm) gözlenebilmektedir. Eşek sütünde ise yüksek Ti (2,356 ppb) ile yüksek Ca (804,4 ppm) veya düşük Ti (1,417 ppb) ile düşük Ca (464,4 ppm) birlikte bulunmuştur. Bu durum, iki elementin bağımsız yollarla süte geçtiğini veya farklı fizyolojik mekanizmalarla düzenlendiğini göstermektedir.

Bulgularımız, sütlerdeki titanyum (Ti) ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonları açısından literatürle uyumluluk göstermektedir (Anderson, 1992). Koyun sütündeki yüksek Ca, Şanlıurfa'nın

jeokimyasal yapısından kaynaklanan bölgesel bir avantaj olarak değerlendirilebilirken, eşek sütündeki düşük değerler genetik olarak belirlenmiş bir özellik olabilir veya otlama farkı ile ilişkilendirilebilir. Ti seviyeleri ise her iki türde de çevresel kontaminasyonun minimal olduğunu kanıtlamaktadır. Bu karşılaştırma, çalışmamızın süt mineral profiline bölgesel bir referans sunduğunu ve fonksiyonel gıda geliştirme ile bebek beslenmesi alanındaki uygulamalara değerli bir katkı sağladığını vurgulamaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, Şanlıurfa bölgesinden toplanan çığ koyun ve eşek sütlerinde titanyum (Ti) ve kalsiyum (Ca) konsantrasyonlarını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Koyun sütü, eşek sütüne göre her örnekte daha yüksek Ti ve Ca içermektedir. Ortalama değerler (koyun: 2,936 ppb Ti, 1045 ppm Ca; eşek: 1,959 ppb Ti, 676 ppm Ca) literatürle uyumlu olup, Ti seviyeleri gıda güvenliği açısından risk oluşturmaz, Ca farkı ise eşek sütü formüllerinde takviye gerekliliğini doğrular. Şanlıurfa'nın karbonatlı jeokimyası, koyun sütündeki yüksek Ca'yı desteklemektedir. Bulgular, sütlerin bölgesel mineral profiline referans sunmakta ve fonksiyonel gıda geliştirme ile bebek beslenmesi uygulamalarına katkı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Anderson, R. R. (1992). Comparison of trace elements in milk of four species. *Journal of Dairy Science*, 75(11), 3050-3055.
- Balthazar, C. F., Pimentel, T. C., Ferrão, L. L., Almada, C. N., Santillo, A., Albenzio, M., ... & Cruz, A. G. (2017). Sheep milk: Physicochemical characteristics and relevance for functional food development. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 16(2), 247-262.
- Claeys, W. L., Verraes, C., Cardoen, S., De Block, J., Huyghebaert, A., Raes, K., ... & Herman, L. (2014). Consumption of raw or heated milk from different species: An evaluation of the nutritional and potential health benefits. *Food control*, 42, 188-201.
- de la Fuente, M. A., & Juárez, M. (2015). Milk and dairy products. *Handbook of mineral elements in food*, 645-668.
- El Khalloufi, M., Drevelle, O., & Soucy, G. (2021). Titanium: An overview of resources and production methods. *Minerals*, 11(12), 1425.
- Fantuz, F., Ferraro, S., Todini, L., Cimorelli, L., Fatica, A., Marcantoni, F., & Salimei, E. (2020). Distribution of calcium, phosphorus, sulfur, magnesium, potassium, and sodium in major fractions of donkey milk. *Journal of dairy science*, 103(10), 8741-8749.
- GÜNEY, E. (2024). DOĞRU VE YANLIŞLAR. SAĞLIK & BİLİM 2024: Beslenme-III, 95.
- Jirillo, F., & Magrone, T. (2014). Anti-inflammatory and anti-allergic properties of donkey's and goat's milk. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Immune, Endocrine & Metabolic Disorders)*, 14(1), 27-37.
- Ling, M., Liang, J., Lyu, Z., Yu, P., Yang, M., Wu, X., ... & Bian, Q. (2025). Genotoxicity assessment of food-grade titanium dioxide. *Food and Chemical Toxicology*, 115476.



Polidori, P., & Vincenzetti, S. (2013). Use of donkey milk in children with cow's milk protein allergy. *Foods*, 2(2), 151-159.

Söylemez, S., Öktem, A. G., Kara, H., Almaca, N. D., Ak, B. E., & Sakar, E. (2017). Şanlıurfa yöresi zeytinliklerinin beslenme durumunun belirlenmesi. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 21(1), 1-15.

Winkler, H. C., Notter, T., Meyer, U., & Naegeli, H. (2018). Critical review of the safety assessment of titanium dioxide additives in food. *Journal of nanobiotechnology*, 16(1), 51.

TÜRKİYE'NİN TEMİZ ENERJİ POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Evaluation of The Clean Energy Potantial of Turkiye

Ceren UNLUKAL ¹, Gökhan Önder ERGÜVEN ², Gürdal KANAT ³

¹ Araştırma Görevlisi, Munzur Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Tunceli/Türkiye,

Orcid: 0000-0001-9997-7310, cerenunlukal@munzur.edu.tr

² Doçent Dr., Munzur Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Kentleşme ve Çevre Sorunları Bölümü, Tunceli, Türkiye,

Orcid : 0000-0003-1573-080X, goerguven@munzur.edu.tr

³ Doçent Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye,

Orcid: 0000-0003-2600-2912 kanat@yildiz.edu.tr

ÖZET

İklim değişikliğiyle mücadelede sürdürülebilir kalkınmanın hedefleri, fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını küresel düzeyde zorunlu kılmıştır. Türkiye, fosil yakıtlarda yüksek oranda dışa bağımlı bir ülke olup, yenilenebilir enerjiye geçiş süreciyle hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli kazanımlar elde etme potansiyeline sahip bir konumdadır. Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının başında hidroelektrik, rüzgâr, güneş, biyokütle ve biyogaz gelir. Hidroelektrik enerji, ülkenin elektrik üretiminde büyük bir paya sahiptir ve diğer yenilenebilir kaynaklara göre kullanımı daha yaygındır. Rüzgâr ve güneş enerjisi ise son yıllarda hızla gelişmekte ve yüksek bir potansiyele sahiptir. Biyokütle ve biyogaz ise hem enerji üretimi hem de atık yönetimi açısından önem taşımaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon emisyonlarını azaltarak çevreyi korur, hava kalitesini iyileştirir, istihdam yaratır ve enerji arz güvenliğine katkıda bulunur. Ancak Türkiye'de yenilenebilir enerji yaygınlaşmasının önünde finansman eksikliği, yetersiz yasal ve düzenleyici altyapı, düşük teknolojik kapasite ve halk arasında farkındalık eksikliği yer almaktadır. Bu engellerin aşılması için öneriler arasında; kamu-özel sektör işbirliklerinin artırılması, uluslararası iş birliklerinin teşvik edilmesi, kapsamlı enerji politikalarının oluşturulması, yenilikçi finansman mekanizmalarının devreye alınması ve yerli halkın katılımını gözeterek sürdürülebilir projelerin geliştirilmesi bulunmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye, sahip olduğu yenilenebilir enerji potansiyelini stratejik biçimde kullanarak sürdürülebilir kalkınma hedeflerine katkıda bulunabilir ve bu mihvalde enerji bağımsızlığını da artırabilir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir kalkınma, Fosil yakıtlar, Biyokütle, Biyogaz

GİRİŞ

İklim değişikliği ve sürdürülebilir kalkınma hakkındaki küresel söylemler, çevresel kirliliği azaltmak ve ekonomik refahı teşvik etmek için acil dönüştürücü eyleme ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir (Jabeur vd., 2021). Kömür, petrol ve doğal gaz da dahil olmak üzere fosil yakıt tüketimi, küresel ısınmaya katkıda bulunan sera gazlarının salınmasına neden olur. Bu, daha sık ve şiddetli hava olayları, yükselen deniz seviyeleri ve tarım ve su kaynaklarında kesintiler (Nunes, 2023) de dahil olmak üzere bir dizi etkiye yol açar. Buna örnek olarak iklim değişikliğini ele almak ve rüzgâr, biyokütle, güneş ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş yapmak, sürdürülebilir ekonomik kalkınma ve çevre yönetimi için acil öncelikler haline gelmiştir.

Türkiye'de yenilenebilir enerji dağıtımının çevresel sürdürülebilirlik ve iklim eylemi için önemli etkileri vardır. Bu durumun potansiyel faydaları sera gazı emisyonlarının azaltılmasından hava kalitesinin ve halk sağlığının iyileştirilmesine kadar uzanır. Bu konuya istinaden yapılan birkaç çalışma, yenilenebilir enerji dağıtımının çevresel ortak faydalarını nicelleştirerek hava kirliliğini azaltma, su stresini hafifletme ve ekolojik dayanıklılığı artırma potansiyelini vurgulamıştır (Demirbas, 2000).

Enerji kaynakları üç kategoriye ayrılmıştır: fosil yakıtlar, yenilenebilir kaynaklar ve nükleer kaynaklar (Demirbas, 2000). Hangi tür enerji kaynağının kullanılacağına dair karar, her durumda ekonomik, sosyal, çevresel ve güvenlik hususları temelinde verilmelidir. Enerji kaynakları dünyanın geleceğinde önemli bir rol oynayacaktır. Enerji, ülkelerin ekonomik kalkınması ve sosyal refahı için önemli bir faktördür. Fosil ve geleneksel yakıtlar yerine kullanılabilecek birçok alternatif yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı vardır.

Türkiye'de 2022 yılı itibarıyla 3,58 milyon ton ham petrol üretilmiş olmasına rağmen, aynı dönemde 33,49 milyon ton ham petrol ithal edilmiştir. Bu veriler doğrultusunda, ülkenin ham petrol ihtiyacının yaklaşık %90'ını ithalat yoluyla karşıladığı sonucuna ulaşılmaktadır (ETKB, 2025).

Yenilenebilir enerji kaynakları

Küresel iklim değişikliği ve ekolojik çevrenin bozulması, yenilenebilir enerjiye yaygın bir ilgi uyandırdı. Son yıllarda, yenilenebilir enerjinin faydaları üzerine yapılan araştırmalar hızla gelişti ve ekonomi, çevre ve toplum gibi çeşitli yönlerde etkileri oldu (Maradin, 2021). Bu durum ekonomik açıdan bakıldığında, yenilenebilir enerjinin teşviki ve uygulanması önemli maliyet düşüşlerine ve pazar fırsatlarına yol açtı. Güneş ve rüzgar enerjisi için eşitlenmiş elektrik maliyeti son yıllarda büyük ölçüde azaldı, bu eğilim birçok ülkeyi yatırım çabalarını artırmaya, teknolojik yeniliği yönlendirmeye ve daha büyük ölçekli üretimi mümkün kılmaya teşvik etti ve böylece daha büyük maliyet avantajları elde edildi. Bunlara ilave olarak yenilenebilir enerji projeleri genellikle inşaat ve bakım aşamalarında çok sayıda istihdam fırsatı yaratır (Ulrich vd., 2012). Çevre koruma açısından bakıldığında yenilenebilir enerji, sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve hava kalitesinin iyileştirilmesinde yadsınamaz bir rol oynamakta (Halkos ve Gkampoura, 2020), yenilenebilir enerjiye geçiş karbondioksit emisyon

seviyelerini ve hava kirleticilerinin emisyonunu önemli ölçüde etkili bir şekilde azaltabilir nitelikte olmaktadır (Panwar vd., 2011).

Yenilenebilir enerji, tanımı gereği sürdürülebilir ve temizdir. Fosil kaynaklarının hızla tükenmesi ve bununla ilişkili çevresel etkiyle başa çıkma fırsatı sunar (Chen vd., 2010). Türkiye'deki temel yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı hidrolik enerji ve biyokütle enerjisi tarafından domine edilmesinin yanında çevresel ve arz kıtlığı endişeleri biyokütle enerjisi kullanımında düşüşe yol açmıştır. Sonuç olarak, yenilenebilir enerji arzının bileşimi değişmiştir. Rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin gelişimi pazar payına olan talebi de arttırmaya başlamıştır. Yenilenebilir enerji hava kirliliğine ve ormansızlaşmaya katkıda bulunan bir unsurdur. Biyokütle enerjisi payının diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının genişlemesiyle azalması beklenmektedir.

Hidroelektrik enerjisi

Hidroelektrik, küresel olarak en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır ve dünyanın enerji kapasitesine yaklaşık %20 ölçüde katkıda bulunur. 2021'de hidroelektrik, dünya çapında etkileyici bir değer olan 1330 GW kurulu kapasiteye sahipti (IHA, 2021). Bu sayılar, hidroelektrik enerjisinin küresel enerji karışımında oynadığı önemli rolün altını çizerek, önemli, esnek ve güvenilir bir yenilenebilir enerji kaynağı sağlamaktadır. Dahası, hidroelektrik enerjisinin güneş ve rüzgâr enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerjilerle etkili tamamlayıcılığı kapsamlı bir şekilde gösterilmiştir (Puspitarini vd., 2020).

Enerji üretiminin kaynağı haline gelen doğal kaynakların faydası, herhangi bir ülke için stratejik bir avantajdır. Avantajlar arasında dış kaynaklara olan bağımlılığın azaltılması ve buna bağlı olarak sosyal ve ekonomik kalkınma için hayati önem taşıyan bir hizmetin tedariki açısından artan istikrar yer alır (Pereira vd., 2012).

Hidroelektrik üretimi, akan suyun kinetik enerjisini yakalar ve elektrik enerjisine dönüştürür. Diğer kaynaklara (örneğin kömür, petrol, uranyum ve doğal gaz) kıyasla düşük tedarik maliyeti ve hidroelektrik santrallerinin işletilmesinin büyük sera gazı emisyonlarına neden olmaması ve böylece alternatiflerle olumlu bir şekilde karşılaştırılabilmesi gibi iki avantajı olan en temiz yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Türkiye'nin elektrik enerjisi tüketimi, 2024 yılında bir önceki yıla kıyasla %3,8 oranında artarak 347,9 TWh seviyesine ulaşmış, elektrik üretimi ise %5,4'lük bir artışla 348,9 TWh olarak gerçekleşmiştir. Türkiye Ulusal Enerji Planı kapsamında yapılan projeksiyonlara göre, elektrik tüketiminin 2025 yılında 380,2 TWh'ye, 2030 yılında 455,3 TWh'ye ve 2035 yılında 510,5 TWh'ye yükselmesi öngörülmektedir.

2024 yılı itibarıyla elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı incelendiğinde, toplam üretimin %35,2'sinin kömürden, %18,9'unun doğal gazdan, %21,5'inin hidrolik enerjiden, %10,5'inin rüzgârdan, %7,5'inin güneş enerjisinden, %3,2'sinin jeotermal enerjiden ve %3,2'sinin diğer enerji kaynaklarından sağlandığı görülmektedir.

2025 yılı Şubat ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı ise şu şekildedir: %27,5 hidrolik enerji, %21 doğal gaz, %18,7 kömür, %11,2 rüzgâr, %17,8 güneş enerjisi, %1,5 jeotermal enerji ve %2,3 diğer kaynaklar.

Bununla birlikte, 2025 yılı Şubat ayı sonu itibarıyla Türkiye'de faaliyet gösteren elektrik üretim santrali sayısı, lisanssız santraller dâhil olmak üzere, 34.383'e ulaşmıştır. Bu santrallerin 767'si hidroelektrik, 72'si kömür, 376'sı rüzgâr, 66'sı jeotermal, 333'ü doğal gaz, 32.307'si güneş ve 462'si diğer enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan santrallerden oluşmaktadır.

2021 yılında hidroelektrik kaynaklı elektrik üretimi 55,5 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. 2022 yılı Mayıs ayı sonu itibarıyla ise hidrolik kaynaklı elektrik üretimi yaklaşık 35,2 milyar kWh seviyesine ulaşmıştır (ETKB, 2025).

Biyokütle ve biyogaz enerjisi

Biyokütle, kimyasal enerji biçiminde depolanmış güneş ışığına sahip organik maddedir. Tüm biyokütle, fotosentez yoluyla güneş ışığını bitki materyaline dönüştüren yeşil bitkiler tarafından üretilir (Capik vd., 2012). Biyokütlenin kullanım amacı daha ziyade elektrik üretmek, evlerin ısınma ihtiyacını karşılamak, araçlara yakıt sağlamak ve endüstriyel tesislerde işlem ısısı sağlamak gibi alt başlıklardan oluşur.

Biyogaz, katı atıkların organik kısmının anaerobik sindiriminden üretilen gazların bir karışımıdır. Özellikle yemek pişirmek için çok temiz bir enerji kaynağıdır. Biyogazdaki ana bileşen ve yararlı gaz, yüksek kaliteli kalorifik değere sahip oldukça yanıcı bir madde olan metandır. Biyogaz üretimi, organik atıkların kontrolü, toplanması ve tarım için gübre üretimi açısından önemlidir (Jingura ve Matengaifa 2009).

Biyogaz reaktörler yalnızca temiz enerji sağlamakla kalmaz, aynı zamanda halk sağlığı, çevre koruma ve ekonomik kalkınma için de önemli faydalar sunar. Ancak, bunların başarılı bir şekilde konuşlandırılması kapsamlı politika müdahaleleri gerektirir.

Biyogaz üretimi ve kullanımı, Türkiye'deki temiz ısıtma enerjisi zorluğunu ele almak için umut vadeden bir teknoloji sunmaktadır. Organik atıkları biyogaza dönüştürerek, bu sistemler geleneksel pişirme yakıtlarına yenilenebilir ve çevre dostu bir alternatif sunmaktadır. Ancak, biyogaz üretimi ve kullanımının başarılı bir şekilde uygulanması, ön maliyetler, teknik uzmanlık ve altyapı kısıtlamaları gibi engellerin üstesinden gelmek için kapsamlı politika desteği ve stratejik planlama gerektirir (Nadan, 2020).

Biyogaz teknolojisi, çeşitli enerji ihtiyaçları için kullanılabilen ve çok yönlü bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen metan açısından zengin biyogaz üretmek için organik maddeleri (gıda atıkları, hayvan gübresi vb.) anaerobik koşullarda ayrıştırır (Weiland, 2010). Biyogaz teknolojisi nispeten basittir ve kullanımı kolaydır. Bu özelliği sayesinde hem küçük ölçekli hem de büyük ölçekli olabilir; hem yemek pişirme hem de aydınlatma için enerji sağlayabilir ve kırsal uzak topluluklarda sanitasyon ve enerji temini ile ilgili sorunları çözebilir (Dumont ve diğerleri, 2021).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından biyokütle enerji potansiyelinin belirlenmesine yönelik hazırlanan Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası (BEPA) verilerine göre, ekonomik olarak toplanabilir artık ve atıkların toplam enerji eşdeğerinin yaklaşık 3,9 MTEP/yıl olduğu öngörülmektedir.

Biyokütle kaynaklarının diğer enerji kaynaklarından farklı olarak ekonomiye kazandırılabilmesi için bütüncül ve entegre bir yaklaşım gerekmektedir. Isı ve elektrik üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olan biyokütle kaynakları, yalnızca enerji üretimiyle sınırlı kalmayıp çevrenin korunması, emisyonların azaltılması ve iklim değişikliği etkilerinin yönetilmesi gibi alanlarda da önemli fırsatlar sunmaktadır.

Bu bağlamda, sürdürülebilir biyokütle kaynak yönetimi, sanayinin iklim değişikliğine uyum sürecinde kritik bir rol oynamakta olup uzun vadeli enerji politikaları açısından stratejik bir öneme sahiptir (ETKB, 2025).

Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi yüzyıllardır insanlar tarafından, başlangıçta mekanik enerji sağlamak ve şimdi de elektrik üretimi sağlamak için kullanılmıştır. Neredeyse dünyanın her yerinde mevcuttur. Sürekli esen rüzgârdan gelen enerji, kinetik enerjiyi mekanik enerjiye ve ardından bu enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştüren rüzgar türbinleri kullanılarak elde edinilebilir (Mondal ve Denich, 2010).

Alternatif enerji kaynaklarına geçiş, dünya çapındaki çevre sorununu ele almak için olmazsa olmazdır. Alternatif enerji kaynakları, fosil yakıtlara alternatif olarak son derece önemlidir. Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynakları kullanarak enerji çıkarırken atmosfere karbondioksit salınmaz. Yine de, yeşil güç kaynaklarını uygulamanın maliyeti, geleneksel yakıtlara göre önemli ölçüde daha yüksektir. Bu durum ayrıca yatırımcıların temiz enerji girişimleri konusundaki endişelerini de artırmaktadır. Sonuç olarak, ülkelerin yenilenebilir enerjiye daha fazla yatırım yapılmasını teşvik eden önlemleri uygulamaları hayati önem taşımaktadır.

Türkiye rüzgar kaynaklarının karakteristiklerini ve dağılımını belirlemek amacıyla Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) hazırlanmıştır. Bu atlas yardımıyla elde edilen ve aşağıda yer alan detaylı rüzgar kaynağı haritaları kullanılarak Türkiye’de rüzgar enerjisi santrali kurulabilecek aday bölgeler hakkında bir fikir sahibi olunabilmektedir. Yatırım kararının alınabilmesi için belirlenen bölgede saha araştırmalarını içeren ön etütler yapılmalı, standartlara uygun, güvenilir ve yeterli süreli enerji amaçlı rüzgar ölçümleri mutlaka gerçekleştirilmeli ve ölçüm verilerinin analizleriyle desteklenecek şekilde bir yatırım kararı alınmalıdır.

Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası verilerine göre;

- Rakımı 0-3.000 metre arasında olan ve yer seviyesinden 100 metre yükseklikteki yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 6,5 m/s değerinden fazla olduğu rüzgar santrali kurulabilir niteliklerdeki tüm karasal alanların her bir kilometrekare büyüklüğündeki kısmına 5,3 MW gücündeki rüzgar türbinlerinin kurulması halinde toplam 57.786 MW gücünde karasal rüzgar santrallerinin işletmeye alınabileceği değerlendirilmektedir.
- Deniz seviyesinden 100 metre yüksekliğindeki yıllık ortalama rüzgâr hızlarının 7,5 m/s den fazla ve deniz derinliğinin 0 - 200 metre arasındaki tüm deniz üstü sahaların 8,0 MW gücündeki rüzgar türbinleri ile değerlendirilmesi halinde toplam 20.788 MW kapasitesinde deniz üstü rüzgar santrallerinin kurulabileceği değerlendirilmektedir.

Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, güneş gövdesinde pozitif bir entalpi değişiminden oluşan güneş radyasyonunun etkilerinden üretilen bir enerji biçimidir ve güneş termal radyasyonu fenomeni aracılığıyla bir dalga formunda yayılır. Güneş enerjisi gezegendeki en bol bulunan enerji kaynağıdır ve doğrudan (güneş radyasyonu) ve dolaylı (rüzgâr) kullanıma açıktır.

İklim değişikliği kötüleşirken ve çevre koruma bilinci artarken, ülkeler, akademi ve endüstri güneş, rüzgâr, biyoenerji ve hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine dikkatlerini çevirmektedir. Yenilenebilir enerji, fosil yakıt tüketimine kıyasla ekolojik çevre üzerindeki olumsuz etkiyi önemli ölçüde azaltabilir (Olabi ve Abdelkareem, 2022). Güneş ve rüzgâr enerjisinin kullanımı nadiren sera gazı havası veya su kirliliği üretir. Rüzgar ve güneş enerjisi üretimi için gereken arazi kaynakları, ekolojik dengeyi ve biyolojik çeşitliliği korumak için büyük önem taşıyan geleneksel enerji projelerinden çok daha düşüktür. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kullanımına geçiş, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmenin etkili bir yolu olarak yaygın olarak kabul edilmiştir.

Güneş enerjisi, aksi takdirde elektrik iletim hatları döşemek için büyük yatırımlar gerektirebilecek uzak köyleri elektrikleirmede çok etkilidir. Uzak köylerin elektrikleştirme programının bir parçası olarak, güneş enerjisiyle çalışan elektrikli aydınlatma sistemleri uygulandı. Bu nedenle, mikro fotovoltaik güneş santralleri kullanılarak aydınlatma tesisinin elektriksiz köylere genişletilmesi için projeler onaylandı. Bu sistemler ayrıca bazı haneler tarafından kurulup yönetilmektedir. Ayrıca, birkaç telekomünikasyon tesisi bağımsız enerji tedariki için fotovoltaik güneş enerjisi sistemleriyle donatılmıştır. Güneş kurutucuları ve güneş su ısıtma sistemleri bazı haneler veya küçük topluluklar tarafından kurulup yönetilmektedir. Güneş kurutucuları çoğunlukla kahve ve kakao kooperatifleri tarafından kullanılmaktadır. Güneş fırınları ve güneş ocakları henüz popülerleşmemiştir. Son dönemde bazı özel sektör işletmecileri ağırlıklı olarak güneş enerjisi ekipmanlarının ithalat, satış ve kurulumuna yönelik faaliyetlere başlamışlardır.

Ülkemiz, stratejik coğrafi konumu dolayısıyla kayda değer bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, yıllık ortalama toplam güneşlenme süresi 2.741 saat olarak belirlenmiş olup, yıllık ortalama toplam güneş ışınım değeri ise 1.527,46 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.

Yenilenebilir enerji politikaları

Yenilenebilir enerjinin gelişimi, Türkiye'nin yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek için önemli finansal kaynaklara sahip açıkça tanımlanmış bir enerji politikası olmaması nedeniyle kapsamlı bir planlamanın eksikliğinden dolayı engellenmektedir. Kurumsal düzeyde, yenilenebilir enerjinin yönetimi Enerji Bakanlıklarına aittir ve Yenilenebilir Enerjiler Alt Müdürlükleri aracılığıyla sağlanır. Ancak, birkaç operatör ve kurum (bakanlıklar, araştırma enstitüleri ve merkezleri, vb.) gerçek bir koordinasyon olmaksızın bu sektörde faaliyet göstermektedir. 2009 yılında, Enerji Bakanlığı bünyesinde bir Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü kurulması kararı, resmi yenilenebilir enerji geliştirme politikasında belirgin bir özellik oluşturmuştur.

Yenilenebilir enerjilere temiz bir düzenleyici, yasal ve mali çerçevenin uygulanmasına izin vermelidir. Böylece, yenilenebilir enerji üretimi operatörleri, ülkenin yenilenebilir enerji kaynaklarındaki muazzam potansiyelini kullanabilmeleri için muafiyetler ve vergi indirimleri şeklinde vergi ve gümrük avantajlarından yararlanabilirler.

Yönetmelikler, teşvikler ve yasal çerçeve koşulları

Yenilenebilir enerjinin uygulanması ve teşviki için yasal ve mali çerçeve koşullarında büyük bir eksiklik bulunmaktadır. Şimdiye kadar, belirli düzenlemeler, teşvikler veya yasal çerçeve koşulları mevcut değildi. Ancak, Enerji Bakanlığı'nda şu anda taslak halinde olan yeni düzenlemeler, Türkiye'de yenilenebilir enerji alt sektörünün geliştirilmesi için gerekli ortamı sağlayacaktır.

Elektrik tesislerinin sağlanması için ana yüklenici firmaların onayını aldıktan sonra birkaç özel işletme kırsal elektrikleştirmeye dahil olmuştur. Bu onayı almak için, başvuran tüm işletmelerin mali ve teknik kapasitelerine dair kanıt sunmaları gerekmektedir. Birkaç proje (evsel atıkların geliştirilmesi, sürdürülebilir orman yönetimi vb.) şu anda Türkiye tarafından sağlanan fırsatlar dahilinde finanse edilebilecek projeler olarak sınıflandırılmak üzere değerlendirilmektedir.

Yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasının önündeki engeller

Yenilenebilir enerjiyi destekleyecek finansal kurumların eksikliği, sağlam bir yasal ve düzenleyici çerçevenin olmaması ve yeterli finansal teşviklerin eksik kalması gibi kurumsal engeller yenilenebilir enerjinin yaygınlaşmasını sınırlamaktadır. Ayrıca, gelişmekte olan ülkelerde ileri teknolojilere sınırlı erişim, yenilenebilir enerjinin kullanımını sınırlayan bir faktördür. Bu erişimin sınırları ortadan kalkmış olsa bile, bu tür teknolojileri tedarik etmenin maliyeti çok yüksektir. Türkiye'ye ait ayrıntılı yenilenebilir enerji kaynak değerlendirmelerinin ve veri bankalarının olmaması da yenilenebilir enerjinin gelişimi için sınırlayıcı bir faktördür. Bunun üstüne, hanelerde güvenilir hizmet korkusu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih etmekten çekinme, bu tür yenilenebilir enerjinin faydaları hakkında farkındalık eksikliği ve yenilenebilir enerjiyi teşvik etmek için siyasi eksiklik gibi sosyo-kültürel engeller de bulunmaktadır.

Yenilenebilir enerji gelişimine ilişkin öneriler

Yenilenebilir enerji gelişimine ilişkin önerilerine ilişkin detaylı bir literatür taraması yapıldığında; rüzgâr ve biyogaz enerjilerinin araştırılması için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu kanısına varılmaktadır. Türkiye' de yenilenebilir enerji ve uygulamalarını araştıran çalışmalara maddi destek sağlanmasının da gerekli olduğu görüşü hakimdir.

Yenilenebilir enerji alanındaki projeler teşvik edilmekte ve desteklenmektedir. Türkiye'de yenilenebilir enerjilerin daha fazla kullanımını teşvik etmek ve bu enerji kaynaklarının daha bilinçli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına doğru kademeli bir hareketi teşvik etmek için işgücü katalizörleri olarak hizmet edecek yenilenebilir enerji bilimi alanındaki araştırma

ve lisansüstü programlara özel bir vurgu yapılmaktadır. Bu kapsamı maddeler halinde açıklamak gerekirse;

- Yenilenebilir enerjinin doğru şekilde uygulanmasını sağlamak için sektörler arası ve uluslararası düzeyde yeterli işbirliğinin de gerekli olduğu düşünülmektedir.
- Yenilenebilir enerji sistemlerinin başarılı bir şekilde geliştirilmesi için dış yardım kaçınılmazdır. İşbirliğini savunan politikalar çerçevesinde, bir yandan enerji sektörü, diğer yandan tarım, çevre, ormancılık gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına sahip diğer önemli sektörler arasında bir koordinasyonun geliştirilmesi gerekmektedir.
- Özel firmalar ve bunların geliştiricileri, hükümetlerle imzalanan bir sözleşme aracılığıyla bağımsız elektrik üreticileri olarak istihdam olanağı sağlayabilirler. Yenilenebilir enerjiden elektrik üreten santralleri, bağlantılı şebekeye bağlayabilirler.
- Yenilenebilir enerjiye dayalı bireysel ekipmanlar, hükümetler tarafından sağlanan garantiler, koordinasyon ve olası mali ve gümrük vergilerindeki indirimlerle, yenilikçi finansman mekanizmaları yoluyla, halklar arasında girişimciler tarafından geliştirilebilir.

Çözüm önerileri

Türkiye rüzgâr enerjisi geliştirmek için iyi bir coğrafi konumdadır ve enerji yapısını optimize etmek ve enerji arzının istikrarını ve güvenliğini desteklemek için biyokütle enerjisi gelişimini artırabilir. Yenilenebilir enerji geliştirme sürecinde Türkiye çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğe büyük önem vermelidir. Ekolojik olarak savunmasız alanlarda ve yerli halkların yaşadığı alanlarda projeler uygularken koruyucu önlemler almak, yerel sakinlerin haklarına ve çıkarlarına saygı göstermek ve çevresel ve sosyal faktörleri karar alma ve proje uygulama sürecinin tamamına entegre etmek esastır. Avrupa ve Asya ülkeleri yüksek derecede tamamlayıcılık sergiler ve yenilenebilir enerji sektöründe önemli bir iş birliği potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda, tüm ülkelerin teknolojik araştırma ve geliştirmeye yatırımı artırması, teknolojik yenilik başarılarının dönüşümünü ve uygulamasını hızlandırması, üst düzey üretim ve hizmet endüstrilerini aktif olarak desteklemesi, yenilenebilir enerji endüstrisinin katma değerini ve uluslararası rekabet gücünü artırması ve yenilenebilir enerji endüstrisinin akıllı ve yeşil bir yönde gelişmesini teşvik etmesi gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'de net ve sürdürülebilir enerji gelişimi için en verimli ve etkili çözümlerden biri gibi görünmektedir. Türkiye'deki yenilenebilir enerji arzı hidroelektrik ve biyokütle enerjisi tarafından domine ediliyor. Ayrıca rüzgâr enerjisi gelişimi için önemli bir potansiyel de mevcuttur. Türkiye büyük bir yenilenebilir enerji potansiyeline sahip ve yenilenebilir enerji kullanımını artırarak fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltmaya istekli bir ülke konumundadır.

REFERANSLAR

Chen, F., S Lu, E Wang, K. Tseng. Renewable energy in Taiwan. Renewable Sustainable Energy Rev, 14 (2010), pp. 2029-2038

Çapık, M., AO Yılmaz, I. Cavusoglu. Present situation and potential role of renewable energy in Turkey. *Renewable Energy*, 46 (2012), pp. 1-13

Demirbas. Recent advances in biomass conversion Technologies. *Energy Educ Sci Technol*, 6 (2000), pp. 19-40

Dumont, K.B., D. Hildebrandt, B.C. Sempuga. The “yuck factor” of biogas technology: naturalness concerns, social acceptance and community dynamics in South Africa. *Energy Res. Soc. Sci.*, 71 (2021), Article 101846

ETKB, 2025. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı web sayfası, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-petrol>

Halkos, G.E., E.C. Gkampoura. Reviewing usage, potentials, and limitations of renewable energy sources. *Energies*, 13 (11) (2020), p. 2906

Hu, Y., H. Cheng, S. Tao. Environmental and human health impacts of geothermal exploitation in China and mitigation strategies. *Crit Rev Environ Sci Technol*, 53 (2023), pp. 1173-1196
IHA, 2021. Hydropower Status Report. URL <
<https://www.hydropower.org/publications/2021-hydropower-status-report>>

Jabeur S., Ben, R. Khalfaoui, W. Ben Arfi. The effect of green energy, global environmental indexes, and stock markets in predicting oil price crashes: evidence from explainable machine learning. *J Environ Manag*, 298 (2021)

Jingura, RM., R. Matengaifa. Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. *Renewable Sustainable Energy Rev*, 13 (2009), pp. 1116-1120

Maradin, D. Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization. *Int. J. Energy Econ. Pol.*, 11 (3) (2021), pp. 176-183

Mondal, MA., M. Denich. Assessment of renewable energy resources potential for electricity generation in Bangladesh. *Renewable Sustainable Energy Rev*, 14 (2010), pp. 2401-2413

Nunes L.J.R. The rising threat of atmospheric CO₂: a review on the causes, impacts, and mitigation strategies. *Environ - MDPI*, 10 (2023)

Olabi, A.G., M.A. Abdelkareem. Renewable energy and climate change. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 158 (2022), Article 112111



Panwar, N.L., S.C. Kaushik, S. Kothari. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15 (3) (2011), pp. 1513-1524

Pereira, MG., CF Camacho, MAV Freitas, NF. Da Silva. The renewable energy market in Brazil: current status and potential. *Renewable Sustainable Energy Rev*, 16 (2012), pp. 3786-3802

Puspitarini, H.D., B. François, M. Zaramella, C. Brown, M. Borga. The impact of glacier shrinkage on energy production from hydropower-solar complementarity in alpine river basins. *Sci. Total Environ.*, 719 (2020), Article 137488

Ulrich, P., M. Distelkamp, U. Lehr. Employment effects of renewable energy expansion on a regional level—first results of a model-based approach for Germany. *Sustainability*, 4 (2) (2012), pp. 227-243

Weiland, P. Biogas production: current state and perspectives. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 85 (2010), pp. 849-860.

RENEWABLE AND SUSTAINABLE AGRO-INDUSTRIAL WASTE APPROACH

Ceren UNLUKAL¹, Gokhan Onder ERGUVEN²

¹Res. Assist. Dr., Munzur University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Tunceli, Türkiye
Orcid: 0000-0001-9997-7310,
cerenunlukal@munzur.edu.tr

² Assoc. Prof. Dr., Munzur University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Urbanization and Environmental Issues, Tunceli, Türkiye
Orcid: 0000-0003-1573-080X,
goerguven@munzur.edu.tr

ABSTRACT

This review examines the sustainable management and valorization of agro-industrial waste, emphasizing its potential as a renewable resource for biofuel, bioenergy, and other high-value bioproducts. As agricultural and food-processing industries produce vast amounts of organic waste, effective reuse strategies have become essential to reduce environmental pollution and support global energy demands. The article underscores the significance of converting biomass especially lignocellulosic waste into biofuels such as bioethanol, biodiesel, and biogas through biochemical and thermochemical processes. It explores innovative technologies, including anaerobic digestion and the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), that enable efficient treatment of organic waste and landfill leachate. These methods not only reduce greenhouse gas emissions but also enhance energy recovery and nutrient recycling. A major focus is placed on biorefineries, which integrate various processes to transform agricultural residues into energy, chemicals, and materials. The transition from first- to second-generation biofuels, particularly those derived from non-food waste, represents a critical step toward sustainability. Additionally, the study highlights the importance of the circular economy in reducing reliance on fossil fuels and fostering a closed-loop system of resource reuse. Future perspectives call for deeper research into the extraction of bioactive compounds from agro-waste, evaluation of feedstock quality, and the development of economic incentives to encourage industry adoption. Integrating biorefinery technologies into mainstream waste management systems is proposed as a key solution to advancing environmental sustainability, economic resilience, and the global transition to a bio-based economy.

Keywords: Sustainable management, agro-industrial waste, waste management, bio-based economy

INTRODUCTION

One of the most important challenges of the 21st century is the reuse of biomass derived from agricultural-industrial by-products over long periods of time, with the aim of producing food, bioactive compounds, pharmaceuticals, biomaterials, and renewable energy. Industries related to food and agriculture generate significant and large amounts of waste, which can serve as a resource for producing high-value quality products, thus offering numerous opportunities for sustainable production (Ng et al., 2020).

There are increasing negative effects of industrial biomass, and this necessitates an efficient and sustainable waste management strategy. From this perspective, industrial products convert biomass into valuable products or by-products in a cost-effective and environmentally friendly manner. Various biomasses are processed using advanced methods in different industries, and waste from the agriculture and food processing sectors also adds value to products (Baran and Nasrollahzadeh, 2019).

Organic materials derived from renewable resources, such as agricultural bioproducts, can also be converted into bioenergy. Large amounts of waste products contribute to the removal of synthetic materials from the environment, making physical or biological recycling processes more efficient by enabling their reprocessing. It facilitates the implementation of environmentally friendly technologies, reducing waste, increasing production efficiency, and lowering the unit cost of the final product. These practices not only promote the eco-friendly recycling of waste but also ensure the efficient utilization and added value of biomass, offering significant social and economic benefits (Sadh et al., 2018).

Agricultural activities have been a fundamental component of society since humanity transitioned to a settled lifestyle and have remained a significant sector in the global economy. However, the increasing agricultural production driven by the growing demand for food and energy has led to major environmental issues associated with waste generation. Agricultural waste constitutes a substantial portion of global waste production, contributing to environmental pollution. If not properly managed, agricultural waste poses health hazards. Therefore, innovative strategies must be developed to eliminate or minimize the negative impacts of agricultural waste, which necessitates a more detailed understanding of these wastes (Rohne Till, 2022).

The economics of biofuel production can be improved by generating not only biofuels but also other valuable by-products. This review provides an overview of how biomass can be effectively utilized as a renewable energy source on a global scale. Among all types of agricultural waste, lignocellulosic waste offers the greatest potential for large-scale use as a renewable biofuel source (Xy et al., 2019).

Biomass generated by various industries has garnered considerable attention from researchers, as it serves as a fundamental resource for numerous industrial products. However, inadequate management of this biomass can cause severe environmental harm and negatively impact the economy of the affected region. In particular, the agricultural sector has experienced a rise in waste generation due to the rapid industrialization of the global economy (Lin et al., 2013). The agricultural industry, especially the food sector, produces substantial amounts of

liquid, solid, and gaseous waste. These wastes originate not only from material processing but also from treatment and disposal activities (e.g., sludge, H₂S).

In developing countries, rapid population growth leads to an increase in waste generation, intensifying pollution risks. This problem is often due to the absence of sustainable and efficient technologies for managing landfill leachate and other pollutants released into the environment and air. Many developing nations depend on poorly regulated dumping sites without adequate leachate treatment facilities, resulting in soil and water contamination and posing serious health hazards (Torretta et al., 2017).

Food processing waste primarily consists of large amounts of organic materials (such as carbohydrates, proteins, fats, and oils) and is characterized by high levels of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), and suspended solids. The composition and volume of leachate can fluctuate over time due to various factors, including waste characteristics, temperature, solubility, rainfall, moisture content, waste volume, landfill size, age, operational practices, as well as local climate and hydrological conditions (Babaei et al., 2021).

Given the complexity of these challenges, emerging technologies are being developed to go beyond conventional waste management and disposal methods. These advancements aim to maximize the potential of agro-industrial waste while providing more sustainable solutions. Industries are increasingly realizing that repurposing biomass residues not only reduces financial losses but also enhances company value by utilizing them as raw materials for producing eco-friendly, high-yield products. Additionally, this approach offers long-term investment opportunities in the recycling sector (Azwar et al., 2018).

Agro-industrial waste can serve as a valuable resource for bioenergy production. For instance, anaerobic digestion of kitchen waste and cow manure has proven to be an effective method for generating biogas while contributing to environmental protection (Corato et al., 2018). Vegetable-based oils whether fresh or used extracted from animal fats, oilseed crops, or other oil-rich waste can be utilized as biomass for biodiesel production. Furthermore, bioethanol, a key motor fuel source, can be derived from various biological materials, including wood, straw, and even household waste (Kaur et al., 2023).

This approach promotes the adoption of a circular economy model across various industries. The rising global population continues to drive the increasing demand for energy. Biomass valorization presents a promising opportunity, particularly in bioenergy production. One of its major environmental advantages is reducing biowaste disposal while replacing conventional fuels with biofuels. These methods not only help control waste accumulation on Earth but also offer a sustainable energy source that can be utilized by all living organisms.

Types of agro-industrial wastes

The agricultural sector is vital across multiple industries, with over 45% of major and medium-sized enterprises relying on agricultural products as raw materials (Singh et al., 2021). However, a significant portion of byproducts generated during pretreatment and processing such as wastewater, scales, stalks, rinds, and husks remains underutilized. While these residues

are sometimes repurposed as animal feed or manure, they hold immense potential for conversion into valuable and marketable products.

Organic agricultural waste can be transformed into various forms of bioenergy, making it a critical renewable resource. For example, fruit processing waste rich in ash, lignin, carbon, cellulose, moisture, hemicellulose, and nitrogen can be converted into bioethanol and biogas. These biofuels serve as sustainable alternatives to conventional energy sources, offering both environmental and economic advantages. As national productivity rises, so does waste generation, underscoring the need for effective utilization strategies.

Similarly, waste from the food industry often contains high levels of biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), and suspended solids. Proper management and conversion of these waste streams into energy contribute to sustainability, reducing environmental impact while supporting circular economy principles (Kee et al., 2021).

Agro-industrial waste valorization

Agro-waste presents a significant environmental challenge, impacting farmers, policymakers, and ecosystems alike. The high consumption of agricultural products, coupled with improper waste disposal, leads to severe environmental degradation. Agro-waste generated from industrial processes and agricultural fields contributes to pollution across multiple mediums, including water, soil, and air.

For instance, burning crop residues releases harmful pollutants into the atmosphere, accelerating climate change and posing serious health risks. Similarly, animal manure may contain hazardous contaminants such as heavy metals, pathogens, and parasites, which, when introduced into water bodies, can pollute drinking water sources and threaten aquatic ecosystems. Additionally, nutrient pollution from agro-waste can trigger environmental issues such as algal blooms and eutrophication, disrupting aquatic life (Buah & Williams, 2012).

Conventional waste disposal methods such as landfilling, thermal treatment, and composting further contribute to environmental degradation. These processes release harmful gases, including CO₂, CO, SO_x, and NO_x, along with ash and unpleasant odors, deteriorating air quality and contaminating groundwater. The improper management of agro-waste significantly exacerbates pollution, intensifying greenhouse gas (GHG) emissions and threatening environmental health (El-Ramady et al., 2022).

To mitigate these risks, developing sustainable and innovative agro-waste management solutions is essential. Lignocellulosic biomass constitutes a major portion of agro-industrial waste and has attracted increasing attention due to its abundance, cost-effectiveness, favorable thermal and mechanical properties, low toxicity, biodegradability, and renewable nature (Beltran-Ramirez et al., 2019; Anwar et al., 2014).

Harnessing lignocellulosic biomass for bioenergy and bioproducts presents a viable solution for promoting sustainability while reducing environmental harm. Cellulose and hemicellulose can be enzymatically broken down into glucose and xylose, which fermentative bacteria convert into ethanol. Additionally, the pyrolysis and anaerobic digestion of lignocellulosic biomass can generate combustible gases such as hydrogen (H₂) and methane (CH₄) (Pisutpasai et al., 2014). The vast availability of biomass feedstocks offers promising

opportunities for their integration into biorefinery technologies (Yang et al., 2015). For example, orange peel biomass can be utilized in a poly-generation system to simultaneously produce power, heat, and hydrogen, maximizing resource efficiency.

In wastewater treatment, the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) is an advanced technology that utilizes suspended plastic polymers within an aerobic tank. These polymers provide a surface for microbial biofilm growth, enhancing the treatment process. Unlike the conventional activated sludge method, which relies on suspended microorganisms, MBBR retains microbes on the reactor's bed, preventing washout and improving treatment efficiency.

The MBBR system offers several advantages, including shorter sludge settling time, higher biomass concentration, and greater resistance to toxic substances. It is particularly effective in simultaneously removing ammonia and organic pollutants in a single treatment step, making it a versatile solution for wastewater management.

One of the most significant applications of MBBR is in the treatment of landfill leachate. In one study, the MBBR process achieved a 20% reduction in Chemical Oxygen Demand (COD) and a remarkable 90% reduction in nitrogen levels. Additionally, it successfully removed 97% of ammonia through nitrification and microbial absorption, with a retention time of just 1.5 days (Payandeh et al., 2017).

This highlights its potential as an efficient and sustainable wastewater treatment technology. The MBBR's ability to efficiently treat wastewater, particularly in complex environments like landfill leachate, makes it an attractive solution for improving water quality and reducing pollution from industrial processes.

Agro-industrial waste holds significant potential for conversion into valuable market products through biochemical or thermochemical processes. However, a large portion of agro-waste worldwide is still disposed of through incineration or dumping, contributing to environmental pollution and failing to harness its full potential. These wastes, which include byproducts from cultivated crops and processed agricultural goods such as vegetables, fruits, dairy, meats, and other foodstuffs, are generated through various agricultural activities, including farming, forestry, grazing, and livestock production (El-Ramady et al., 2022).

The efficiency of converting agro-industrial waste into valuable products is influenced by several factors, including feedstock composition, temperature, and hydrothermal conditions. Lorby de Bruyn-Alberda van Ekenstein studied the hydrolysis and depolymerization of cellulose-rich feedstocks, highlighting the pH sensitivity of these processes. For instance, acidic conditions promote higher yields of 5-hydroxy methyl furfural (5-HMF) and its acid derivatives, whereas alkaline conditions facilitate reactions such as retro-aldol synthesis and hydration-dehydration, leading to the formation of simpler acids and alcohols. Due to its complex structure and the presence of p-hydroxy phenyl propanoids, lignin is highly resistant to enzymatic and chemical degradation, making it more challenging to break down. However, when subjected to hydrothermal hydrolysis in an alkaline medium, lignin generates a variety of phenolic compounds.

The circular economy, which focuses on reducing, reusing, and recycling waste, plays a crucial role in converting agro-waste into renewable resources, with biorefineries at the core of this transformation. These technologies enable the recovery of valuable products from waste, including biofuels, chemicals, and materials. Additionally, studies suggest that replacing some

of the water in the hydrolysis process with solvents such as ethanol, methanol, acetone, or 2-propanol can increase the ionic product of the mixture, thereby enhancing bio-oil production (Karan et al., 2018).

These advancements contribute to the broader movement of transforming agro-industrial waste into biofuels, presenting a promising pathway toward a more sustainable and circular bioeconomy.

Biofuel

Agro-industries are increasingly embracing bio-economy and biorefinery models, which provide sustainable solutions for waste management and fuel production on a global scale. These models focus on converting agricultural and industrial byproducts into high-value products such as food additives, polymers, and pharmaceutical ingredients, while also generating biofuels that can be used domestically or exported (Duque-Acevedo et al., 2020).

A biorefinery is a facility that integrates multiple processes to transform biomass into biofuels, biochemicals, and bio-based energy (Wang et al., 2007). Functioning similarly to petroleum refineries, these facilities process raw biomass into valuable end products while simultaneously producing energy (De Corato et al., 2018).

By utilizing biorefinery technologies, agro-industries can maximize the efficiency of agricultural resources, supporting both sustainable food production and the transition to a green economy (Fava et al., 2015). These technologies enable the conversion of biomass into biofuels, fine chemicals, and biopolymers, while also generating heat and electricity. Although the use of biomass for energy production is not a new concept, traditional methods such as direct combustion have proven inefficient due to incomplete combustion and low energy density.

The focus on second-generation biofuels, derived from waste materials rather than food crops, represents a critical shift toward sustainability. These biofuels such as bioethanol produced from agricultural residues like sugarcane molasses in India offer an environmentally friendly alternative to first-generation biofuels (Ramos et al., 2016). By advancing and integrating biorefinery technologies, governments and agro-industries can address key challenges in the green economy, reduce waste, and create valuable products from agricultural byproducts (Ashok et al., 2014).

Agro-waste has become an essential resource for renewable energy production, providing a viable alternative to conventional fossil fuels. Converting agro-waste into biofuels allows its use in heating applications or as fuel for heat engines, contributing to mechanical work generation (Steeneken et al., 2011). The adoption of agro-biomass has a notable environmental impact, helping offset approximately 250 million tonnes of carbon emissions annually (Steeneken et al., 2011). For example, mustard crop residue generates lower emissions of CO₂, SO₂, and NO_x compared to coal in thermal power plants while also reducing ash content and water consumption. Additionally, various agro-wastes—including sugarcane bagasse, pecan shells, cotton plant residue, and corn cobs can be processed into briquettes, offering a more sustainable alternative to traditional fuels (Zubairu and Gana, 2014).

Since direct combustion of crop residues is inefficient, these materials are transformed into biofuels through different processing techniques. This transformation aligns with second-

generation biofuels, which utilize agricultural waste as feedstock. Common raw materials for biofuel production include sawdust, sugarcane bagasse, rice straw, sugar beet waste, sweet potato and potato waste, and corn stalks (Ashok et al., 2014).

Beyond biofuels, agro-waste serves as a valuable raw material for producing chemicals used in plastics, pharmaceuticals, and food additives. Through processes such as pyrolysis, enzymatic treatments, and catalytic reactions, agro-waste can be converted into high-value byproducts. Lignocellulosic waste, for instance, acts as a feedstock for biorefineries, yielding eco-friendly and cost-effective products like acetic acid, succinic acid, and ethanol (Luo et al., 2010). This lignocellulosic biomass is not only used for biofuel production but also supports material and chemical manufacturing as well as onsite power generation (Sohel et al., 2010). The expanding role of agro-waste in biorefineries fosters a circular and sustainable economy, minimizing waste while generating valuable products and renewable energy.

Technological advancements and the increased availability of raw materials have transformed bioethanol production into a global industry, reaching billions of liters annually (Agrawal et al., 2019). However, many developing countries struggle with limited access to suitable waste materials for biofuel production. Despite this challenge, innovative methods are being explored to utilize available organic waste for bioethanol generation. For example, vegetable waste such as potato peels, carrot peels, and onion peels can be fermented using *Saccharomyces cerevisiae* (Mushimiyimana and Tallapragada, 2016), while banana pseudostems can be treated with *Aspergillus ellipticus* and *Aspergillus fumigatus* to produce bioethanol (Ingale et al., 2014). Additionally, *Clostridium beijerinckii* has been used to convert agricultural waste into butanol (Maiti, Sarma, and Brar et al., 2016).

Agro-industrial residues from agriculture, food processing, and the oil industry are increasingly recognized as viable feedstocks for biofuel production. One of the most common solid biofuels derived from agricultural waste is pellets—compressed cylinders made from agricultural residues, forest byproducts, and wood industry waste (Tauro et al., 2018). These pellets serve as an efficient and sustainable energy source, widely used for heating applications in both industrial and residential settings.

Lignocellulosic biomass holds significant potential for bioenergy production due to its rich organic composition, including glucose, xylose, mannose, and arabinose—compounds that can undergo anaerobic breakdown to generate biogas. The anaerobic digestion process consists of four main stages: hydrolysis, acidification, acetate synthesis, and methane production (Solarte-Toro et al., 2018). The final product of this process is a gaseous mixture primarily composed of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), along with trace amounts of carbon monoxide (CO), hydrogen sulfide (H_2S), hydrogen (H_2), and ammonia (NH_3). This anaerobic conversion offers an efficient means of transforming organic waste into biofuels, contributing to greenhouse gas reduction while generating renewable energy (Rada, 2014).

Effective waste management is crucial for reducing environmental pollution while enabling bioenergy production. Various techniques have been developed to integrate renewable energy generation with sustainable waste disposal. These methods can be broadly classified into biological and thermochemical processes.

While biological processes are efficient, their effectiveness depends on feedstock composition. Harmful substances in the substrate can hinder microbial activity, and these

methods require longer retention periods ranging from days to weeks making large-scale implementation costly and time-intensive.

In contrast, thermochemical processes offer significantly shorter conversion times, from minutes to hours, and are not constrained by feedstock composition or toxicity since they do not rely on microorganisms. These processes are categorized into dry and wet methods based on feedstock moisture content. Dry methods, such as combustion and pyrolysis, are best suited for low-moisture materials, whereas wet processes handle high-moisture feedstocks (Maiti et al., 2017). Due to their speed and efficiency, thermochemical methods present a viable alternative to biological approaches for biofuel production.

Research suggests that biofuels can match the performance of fossil fuels while offering a long-term solution to resource depletion. Organic waste, characterized by high biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD), provides an ideal environment for microbial activity, facilitating biofuel generation. However, improper waste management can lead to environmental pollution, unpleasant odors, and health risks.

Depending on the composition of the waste, different biofuels such as biogas, bioethanol, biohydrogen, and biodiesel can be produced. These biofuels not only serve as renewable energy sources but also significantly reduce carbon emissions, offering a more sustainable alternative to fossil fuels. Biomass-derived biofuels play a key role in cutting greenhouse gas emissions and decreasing reliance on finite energy resources, thus promoting environmental sustainability (Mohan et al., 2016).

Biogas: A versatile energy source

Gaseous biofuels, such as biogas and biomethane, are increasingly recognized as sustainable alternatives to conventional fossil fuels. These renewable energy sources can be utilized for power and heat generation and even as transportation fuels. Biogas, primarily composed of methane (CH_4) and carbon dioxide (CO_2), is produced through anaerobic digestion a biological process that decomposes organic matter rich in cellulose, proteins, and hemicellulose. This method is widely regarded as one of the most efficient and environmentally friendly approaches to biogas production (Pattanaik et al., 2019). The methane content in biogas generated through methanogenesis typically ranges from 45% to 75%, with additional components such as 1–5% water vapor, 25–50% carbon dioxide, and trace amounts of hydrogen (H_2), hydrogen sulfide (H_2S), ammonia (NH_3), and carbon monoxide (CO) (Rasi et al., 2007).

Biodegradation, a simple and cost-effective process, is commonly used to break down organic pollutants, particularly those with high biochemical oxygen demand (BOD). However, its efficiency declines when addressing contaminants with higher chemical oxygen demand (COD). This process enhances microbial decomposition of organic compounds, converting them into simpler substances. Under aerobic conditions, it produces carbon dioxide and sludge, whereas anaerobic conditions result in biogas formation. This technique is particularly effective for treating young or fresh leachates, which generally have a BOD/COD ratio above 0.5. However, it is less efficient in removing persistent pollutants such as pharmaceutical residues and refractory organic compounds (Lippi et al., 2018).

Conclusion

The efficient utilization and value-added processing of agro-industrial residues not only provide environmental benefits but also generate significant social and economic advantages. By adopting a circular economy approach in the agricultural sector, these residues can be transformed into valuable products such as biofuels, reducing waste accumulation and promoting sustainability. As global energy demand continues to rise alongside population growth, agricultural and agro-industrial waste presents a viable resource for bioenergy production, offering a renewable alternative that benefits both the environment and society.

Biofuels derived from agricultural residues have a clear environmental advantage over conventional fossil fuels due to their lower emissions and reduced pollution levels. The shift toward biofuels helps mitigate biowaste accumulation and its associated environmental impacts. Moreover, the co-production of biofuels alongside other valuable byproducts enhances the economic feasibility of biofuel production, ensuring its long-term viability while strengthening the resilience of the agro-industrial sector (Bhatia et al., 2017).

Agro-industrial residues hold immense potential for reutilization, supporting both energy production and the extraction of high-value bioactive compounds. Effective management of these residues is crucial for advancing the circular economy and driving global economic growth by transforming waste into valuable resources. This review underscores the vast potential of agro-industrial waste as a sustainable alternative to conventional fossil fuel-based products.

Biorefineries dedicated to processing agro-industrial waste are not only economically viable but also maximize resource efficiency by facilitating the recovery of bio-based materials. These facilities play a pivotal role in the circular bioeconomy, fostering commercialization opportunities and establishing a more sustainable framework for future developments.

Looking ahead, research should focus on organic-rich residues that contain a diverse spectrum of valuable compounds, such as fibers, vitamins, cellulose, lignin, lipids, sugars, proteins, polyphenols, and pectin. These components position agricultural and industrial waste as promising feedstocks for circular economy initiatives. Additionally, addressing the cost-effectiveness of feedstock procurement potentially through targeted incentives—could encourage greater participation from agro-industries. Another critical area for development is the quality evaluation of biomass and bioenergy to ensure efficient utilization of resources. Ultimately, integrating biorefinery technologies into waste management strategies will amplify the advantages of the circular economy, driving innovation and sustainability within the agro-industrial sector.

References

- A. Zubairu, S.A. Gana. Production And Characterization Of Briquette Charcoal By Carbonization Of Agro-Waste. *Energy Power*, 4 (2014)
- C. Xu, M. Nasrollahzadeh, M. Sajjadi, M. Maham, R. Luque, A.R. Puente-Santiago. Benign-By-Design Nature-Inspired Nanosystems In Biofuels Production And Catalytic Applications. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 112 (2019), Pp. 195-252

C.S.K. Lin, L.A. Pfaltzgraff, L. Herrero-Davila, E.B. Mubofu, S. Abderrahim, J.H. Clark, Et Al. Food Waste As A Valuable Resource For The Production Of Chemicals, Materials And Fuels. *Current Situation And Global Perspective Energy Environ. Sci.*, 6 (2) (2013), Pp. 426-464

E. Azwar, W.A. Wan Mahari, J.H. Chuah, D.V.N. Vo, N.L. Ma, W.H. Lam, S.S. Lam. Transformation Of Biomass Into Carbon Nanofiber For Supercapacitor Application – A Review. *Int. J. Hydrog. Energy*, 43 (2018)

E. Rohne Till. The Role Of Agriculture In Economic Development. *Agriculture For Economic Development In Africa: Evidence From Ethiopia*, Springer International Publishing (2022), Pp. 9-17

E.C. Rada. Energy From Municipal Solid Waste. *WIT Trans. Ecol. Environ.*, 190 (2014), Pp. 945-958

F. Beltrán-Ramirez, D. Orona-Tamayo, I. Cornejo-Corona, González-Cervantes JLN, J. De Jesús Esparza-Claudio, E. Quintana-Rodriguez. Agro-Industrial Waste Revalorization: The Growing Biorefinery. *Biomass Bioenergy-Recent Trends Futur. Challeng.* (2019), Pp. 83-102

F. Fava, G. Totaro, L. Diels, M. Reis, J. Duarte, O.B. Carioca, Et Al. Biowaste Biorefinery In Europe: Opportunities And Research & Development Needs. *New Biotechnol.*, 32 (1) (2015), Pp. 100-108

H. El-Ramady, E.C. Brevik, Y. Bayoumi, T.A. Shalaby, M.E. El-Mahrouk, N. Taha, H. Elbasiouny, F. Elbehiry, M. Amer, N. Abdalla, J. Prokisch, S. Solberg, W. Ling. An Overview Of Agro-Waste Management In Light Of The Water-Energy-Waste Nexus. *Sustainability (Switzerland)*, 14 (2022)

H. El-Ramady, E.C. Brevik, Y. Bayoumi, T.A. Shalaby, M.E. El-Mahrouk, N. Taha, H. Elbasiouny, F. Elbehiry, M. Amer, N. Abdalla, J. Prokisch, S. Solberg, W. Ling. An Overview Of Agro-Waste Management In Light Of The Water-Energy-Waste Nexus. *Sustainability (Switzerland)*, 14 (2022),

H.S. Ng, P.E. Kee, H.S. Yim, P.-T. Chen, Y.-H. Wei, J. Chi-Wei Lan. Recent Advances On The Sustainable Approaches For Conversion And Reutilization Of Food Wastes To Valuable Bioproducts. *Bioresour. Technol.*, 302 (2020), Article 122889

I. Mushimiyimana, P. Tallapragada. Bioethanol Production From Agro Wastes By Acid Hydrolysis And Fermentation Process. *J. Sci. Ind. Res. (India)*, 75 (6) (2016), Pp. 383-388

J.C. Solarte-Toro, Y. Chacón-Pérez, C.A. Cardona-Alzate. Evaluation Of Biogas And Syngas As Energy Vectors For Heat And Power Generation Using Lignocellulosic Biomass As Raw Material. *Electron. J. Biotechnol.*, 33 (2018), Pp. 52-62

J.L. Ramos, M. Valdivia, F. García-Lorente, A. Segura. Benefits And Perspectives On The Use Of Biofuels. *Microb. Biotechnol.*, 9 (4) (2016), Pp. 436-440

K. Ashok, S.D. Joginder, K.G. Suresh Surekha. Production Of Ethanol From Tuberous Plant (Sweet Potato) Using *Saccharomyces Cerevisiae* MTCC-170. *Afr. J. Biotechnol.*, 13 (2014)

K. Ashok, S.D. Joginder, Suresh K.G. Surekha. Production Of Ethanol From Tuberous Plant (Sweet Potato) Using *Saccharomyces Cerevisiae* MTCC-170. *African. J. Biotechnol.*, 13 (28) (2014), Pp. 2874-2883



- L. Luo, E. Van Der Voet, G. Huppes. Biorefining Of Lignocellulosic Feedstock - Technical, Economic And Environmental Considerations. *Bioresour. Technol.*, 101 (2010)
- L. Pattanaik, F. Pattnaik, D.K. Saxena, S.N. Naik. Biofuels From Agricultural Wastes. Second And Third Generation Of Feedstocks: The Evolution Of Biofuels, Elsevier (2019), Pp. 103-142
- M. Duque-Acevedo, L.J. Belmonte-Urena, F.J. Cortés-Garcia, F. Camacho-Ferre. Agricultural Waste: Review Of The Evolution, Approaches And Perspectives On Alternative Uses. *Glob. Ecol. Conserv.*, 22 (2020), Article E00902
- M. Lippi, M.B.R. Gaudie Ley, G.P. Mendez, R.A. Felix Cardoso Junior. State Of Art Of Landfill Leachate Treatment: Literature Review And Critical Evaluation. *Ciência E Natura*, 40 (2018)
- M.I. Sohel, M. Jack. Efficiency Improvements By Geothermal Heat Integration In A Lignocellulosic Biorefinery. *Bioresour. Technol.*, 101 (2010)
- N. Mahawar, P. Goyal, S. Lakhiwal, S. Jain. Agro Waste: A New Eco- Friendly Energy Resource. *Int. Res. J. Environ. Sci.*, 4 (2015)
- N. Pisutpaisal, S. Boonyawanich, H. Saowaluck. Feasibility Of Biomethane Production From Banana Peel. *Energy Procedia*, 50 (2014), Pp. 782-788
- P.E. Payandeh, N. Mehrdadi, P. Dadgar. Study Of Biological Methods In Landfill Leachate Treatment. *Open J. Ecol.*, 07 (2017)
- P.G. Steeneken, K. Le Phan, M.J. Goossens, G.E.J. Koops, G.J.A.M. Brom, C. Van Der Avoort, J.T.M. Van Beek. Piezoresistive Heat Engine And Refrigerator. *Nat. Phys.*, 7 (2011)
- P.K. Sadh, S. Duhan, J.S. Duhan. Agro-Industrial Wastes And Their Utilization Using Solid State Fermentation: A Review. *Bioresour Bioprocess* (2018)
- Q. Wang, Z. Zheng, Z. Liu, X. Zhao. The Industrial Processes And Products Of Biorefineries. *Prog. Chem.*, 19 (0708) (2007), P. 1198
- R. Singh, R. Das, S. Sangwan, B. Rohatgi, R. Khanam, S.K.P.G. Peera, Et Al. Utilisation Of Agro-Industrial Waste For Sustainable Green Production: A Review *Environ. Sustain.*, 4 (4) (2021), Pp. 619-636
- R. Tauro, C.A. García, M. Skutsch, O. Masera. The Potential For Sustainable Biomass Pellets In Mexico: An Analysis Of Energy Potential, Logistic Costs And Market Demand. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 82 (2018), Pp. 380-389
- S. Babaei, M.R. Sabour, S. Moftakhari Anasori Movahed. Combined Landfill Leachate Treatment Methods: An Overview. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 28 (42) (2021), Pp. 59594-59607
- S. Ingale, S.J. Joshi, A. Gupte. Production Of Bioethanol Using Agricultural Waste: Banana Pseudo Stem. *Braz. J. Microbiol.*, 45 (3) (2014), Pp. 885-892
- S. Maiti, S. Kumar Karan, J. Lee, A. Kumar Mishra, B. Bhusan Khatua, J. Kon Kim. Bio-Waste Onion Skin As An Innovative Nature-Driven Piezoelectric Material With High Energy Conversion Efficiency. *Nano Energy*, 42 (2017)
- S. Maiti, S.J. Sarma, S.K. Brar, Y. Le Bihan, P. Drogui, G. Buelna, Et Al.. Agro-Industrial Wastes As Feedstock For Sustainable Bio-Production Of Butanol By *Clostridium Beijerinckii*. *Food Bioprod. Process.*, 98 (2016), Pp. 217-226
- S. Rasi, A. Veijanen, J. Rintala. Trace Compounds Of Biogas From Different Biogas Production Plants. *Energy*, 32 (2007)

S. Venkata Mohan, G.N. Nikhil, P. Chiranjeevi, C. Nagendranatha Reddy, M.V. Rohit, A.N. Kumar, Et Al. Waste Biorefinery Models Towards Sustainable Circular Bioeconomy: Critical Review And Future Perspectives. *Bioresour. Technol.*, 215 (2016), Pp. 2-12

S.H. Kee, J.P. Saludes, S. Vigneswari, S. Ramakrishna, K. Bhupalan, J.B.V. Chiongson. Bioconversion Of Agro-Industry Sourced Biowaste Into Biomaterials Via Microbial Factories – A Viable Domain Of Circular Economy. *Environmental Pollution* (2021) P. Kaur, D. Singla, M.S. Taggar, L.K. Sarao. Potential Technologies For Advanced Generation Biofuels From Waste Biomass. *Agroindustrial Waste For Green Fuel Application*, Springer (2023), Pp. 121-168

S.K. Bhatia, S.H. Kim, J.J. Yoon, Y.H. Yang. Current Status And Strategies For Second Generation Biofuel Production Using Microbial Systems. *Energy Convers. Manag.*, 148 (2017), Pp. 1142-1156

S.K. Karan, S. Maiti, S. Paria, A. Maitra, S.K. Si, J.K. Kim, B.B. Khatua. A New Insight Towards Eggshell Membrane As High Energy Conversion Efficient Bio-Piezoelectric Energy Harvester. *Mater. Today Energy*, 9 (2018)

T. Agrawal, S.K. Jadhav, A. Quraishi. Bioethanol Production From An Agrowaste, Deoiled Rice Bran By *Saccharomyces Cerevisiae* MTCC 4780 Via Optimization Of Fermentation Parameters. *Environ. Asia.*, 12 (1) (2019), Pp. 20-24

T. Baran, M. Nasrollahzadeh. Facile Synthesis Of Palladium Nanoparticles Immobilized On Magnetic Biodegradable Microcapsules Used As Effective And Recyclable Catalyst In Suzuki-Miyaura Reaction And P-Nitrophenol Reduction. *Carbohydr. Polym.*, 222 (2019), Article 115029

U. De Corato, I. De Bari, E. Viola, M. Pugliese. Assessing The Main Opportunities Of Integrated Biorefining From Agro-Bioenergy Co/By-Products And Agroindustrial Residues Into High-Value Added Products Associated To Some Emerging Markets: A Review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* (2018)

U. De Corato, I. De Bari, E. Viola, M. Pugliese. Assessing The Main Opportunities Of Integrated Biorefining From Agro-Bioenergy Co/By-Products And Agroindustrial Residues Into High-Value Added Products Associated To Some Emerging Markets: A Review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 88 (2018), Pp. 326-346

V. Torretta, N. Ferronato, I.A. Katsoyiannis, A.K. Tolkou, M. Airolidi. Novel And Conventional Technologies For Landfill Leachates Treatment: A Review. *Sustainability* (Switzerland), 9 (2017)

W.K. Buah, P.T. Williams. Agricultural Waste Biomass Converted To Activated Carbon As A Material For Gold Processing. *J. Mater. Cycl. Waste Manag.*, 14 (2012)

X. Yang, H.S. Choi, C. Park, S.W. Kim. Current States And Prospects Of Organic Waste Utilization For Biorefineries. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 49 (2015), Pp. 335-349

Z. Anwar, M. Gulfraz, M. Irshad. Agro-Industrial Lignocellulosic Biomass A Key To Unlock The Future Bio-Energy: A Brief Review. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.*, 7 (2) (2014), Pp. 163-173



SENSOR-BASED AUTOMATIC AGRICULTURAL SPRAYING SYSTEM FOR COMBATING OLIVE FLY AND MEDITERRANEAN FRUIT FLY

Muhammet Mert TUNCEL

Farmingo Agricultural Technologies, Manisa Teknokent, Manisa, Türkiye,
mert.tuncel@farmingo.net - ORCID ID: 0009-0007-6047-1487

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh
mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

The olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) and the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) are among the most destructive pests affecting olive and fruit production in the Mediterranean region, causing significant yield losses and quality degradation. Conventional chemical control methods, while effective, often lead to excessive chemical use, environmental pollution, and harm to beneficial insect populations. This study presents a sensor-based automatic agricultural spraying system designed to optimize pesticide application according to tree-specific characteristics such as canopy volume and branch density. The system integrates ultrasonic and camera-based sensors, GPS positioning, vehicle speed monitoring, an electronic control unit, solenoid valve-controlled nozzles, and pressure and flow sensors to ensure accurate, target-oriented spraying. Real-time data visualization allows operators to monitor performance and make informed decisions. Results indicate that the system significantly reduces chemical usage, minimizes environmental impact, enhances pest control efficiency, and improves both yield and product quality. Overall, the proposed system represents a sustainable, economically efficient, and technologically advanced approach for managing olive and Mediterranean fruit fly populations.

Keywords: Sensor-based spraying, precision agriculture, olive fruit fly (*Bactrocera oleae*), Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*), variable-rate pesticide application

1. INTRODUCTION

The olive fruit fly (*Bactrocera oleae*) and the Mediterranean fruit fly (*Ceratitis capitata*) are among the most significant pests threatening olive and fruit production in the Mediterranean basin [1, 2]. These species cause substantial economic losses by directly affecting both yield

and quality [3, 4]. In particular, the olive fruit fly damages olives when females lay eggs under the fruit skin, and the emerging larvae feed on the pulp, creating galleries. As a consequence, the chemical composition of olive oil is adversely affected, leading to an increase in acidity, a reduction in quality, and a significant decrease in oil yield.

On the other hand, the Mediterranean fruit fly, with its wide host range, infests various fruit species. The larvae feed within the fruit tissues, causing softening, depressions, decay, and premature fruit drop. These effects not only reduce production levels but also decrease the commercial value and marketability of the fruits. In export-oriented production, the inability to meet quality standards makes the economic losses even more pronounced [5]. Previous studies have reported that olive fruit fly infestations can result in yield losses ranging from 30% to 70% [6]. Fruit damage caused by the olive fly is shown in Figure 1.



Figure 1. Fruit damage caused by the olive fly

Traditional chemical control methods are widely used and generally effective in managing these pests. However, excessive and uncontrolled use of chemicals leads to several drawbacks, including environmental pollution, negative impacts on beneficial insect populations, and the accumulation of chemical residues in agricultural products.

Conventional pest control methods are generally applied in two main categories: full-cover spraying and partial-branch spraying. Full-cover spraying involves the application of insecticides to the entire tree when pest populations are high; however, this approach often results in excessive chemical use, soil and water pollution, and adverse effects on beneficial insect populations [7]. In contrast, partial-branch spraying consists of applying insecticides mixed with attractants, such as protein hydrolysates, to specific branches, thereby reducing overall chemical usage [8]. Nevertheless, several technical challenges limit the effectiveness of this method. Differences in tree size and branch density reduce the efficiency of standardized dosages, while manual applications are prone to inconsistencies due to errors in branch selection and spray amounts [9]. In addition, environmental factors such as wind, temperature, and

humidity cause the pesticide to drift to non-target areas or lose effectiveness [10]. Since current systems do not account for tree volume, spraying is performed with fixed dosages, leading to problems of both over- and under-application [11]. Over-application results in environmental pollution and economic losses, whereas under-application fails to suppress pest populations effectively and may contribute to the development of resistance [12].

Therefore, the development of environmentally friendly, sustainable, and more targeted pest management strategies has become increasingly important. In this context, the present study investigates in detail the technical specifications, advantages, and potential impacts of a sensor-based automatic spraying system, which is optimized according to the volume and branch density of each individual tree.

2. MATERIAL AND METHODS

The system developed in this study is an innovative, sensor-based automatic spraying mechanism designed for the control of the olive fruit fly and the Mediterranean fruit fly. The system is capable of variable-rate spraying based on the volume and branch density of each individual tree, addressing the limitations of conventional methods. This approach minimizes environmental pollution and chemical waste while ensuring effective pest population management. The system architecture is composed of three main components: sensor technologies, control and spraying mechanisms, and data visualization with a user interface.

The sensors integrated into the system are selected to accurately capture the morphological characteristics of the trees and provide real-time data for precise spraying. Ultrasonic sensors measure distances using sound waves, offering information on the proximity of trees. These measurements allow the estimation of tree volume and branch density, providing a low-cost and rapid solution for assessing the canopy structure. In addition, RGB or stereo camera-based systems are combined with artificial intelligence (AI)-supported image processing algorithms to obtain detailed three-dimensional representations of the trees. This enables the system to adapt to different tree types and growth conditions, enhancing spraying accuracy.

Flow and pressure sensors are also incorporated to continuously monitor spraying parameters. Real-time tracking of spray pressure and chemical flow ensures consistent application, detects potential blockages or fluctuations early, and contributes to optimized chemical usage, preventing wastage.

Data collected from the sensors are processed by an Electronic Control Unit (ECU), the central component of the system. The ECU calculates the required pesticide dosage for each tree based on its volume and branch density and dynamically adjusts spraying parameters, including dosage, timing, and direction. Unlike conventional fixed-rate applications, this approach allows for tree-specific, optimized spraying.

The spraying system is equipped with nozzles capable of independently applying chemicals to the left and right sides of the canopy. Controlled by solenoid valves, the nozzles apply pesticides only to the branches identified as targets by the sensors. This minimizes chemical application to non-target areas such as gaps or trunks, reduces environmental impact, and ensures efficient chemical usage. Additionally, the system can detect gaps between trees and automatically deactivate nozzles in these areas, further improving spraying effectiveness.

A user-friendly interface is incorporated into the system to facilitate operator monitoring and control. Through the integrated display screen, operators can access real-time measurements including spray volume, pressure and flow rates, proximity and canopy information from the sensors, and overall system performance metrics. The user interface also provides alerts for potential malfunctions or operational errors, enhancing system reliability and ease of use.

In summary, the developed sensor-based automatic spraying system provides a more environmentally friendly, economically efficient, and target-oriented solution compared to conventional fixed-rate applications. Its ability to adapt to the individual characteristics of each tree makes it a promising next-generation tool for pest management in olive and fruit cultivation. The system setup is given in Figure 1.



Figure 2. The system setup

3. RESULTS AND DISCUSSION

The developed sensor-based automatic spraying system has been designed and implemented in accordance with modern precision agriculture principles. The system measures the volume and branch density of each tree using ultrasonic sensors or camera-based imaging systems, determines the vehicle's position via a GPS module, and continuously monitors the speed of the vehicle through dedicated sensors. These data are analyzed by the Electronic Control Unit (ECU) to calculate tree-specific pesticide dosages, and the spraying parameters (dosage, timing, and direction) are dynamically adjusted. The calculated dosages are applied exclusively to the target branches using solenoid valve-controlled nozzles, while pressure and flow sensors continuously ensure spraying stability and accuracy. Throughout the operation, all process data

are displayed in real time to the operator, allowing continuous monitoring of system performance and efficiency.

This approach offers significant advantages compared to conventional fixed-rate spraying methods. Tree-specific dosage applications minimize chemical waste and reduce environmental impact. Lower chemical usage contributes to preventing soil and water pollution and helps preserve beneficial insect populations. In addition, the automated, target-oriented system reduces human error commonly associated with manual applications, thereby enhancing operational reliability and supporting sustainable agricultural practices.

Another key advantage of the system is its contribution to economic efficiency. Optimizing chemical usage and labor requirements lowers production costs and increases profitability for farmers. Furthermore, the precise and effective pest control provided by the system minimizes crop losses, enhances yield, and improves product quality. These benefits are particularly important for export-oriented production, as they increase the marketability of crops and contribute significantly to the overall sustainability of agricultural operations. Consequently, the sensor-based automatic spraying system presents a superior solution in terms of both environmental and economic performance compared to conventional methods.

4. CONCLUSIONS

This study demonstrates the development and application of a sensor-based automatic spraying system capable of tree-specific variable-rate pesticide application for the control of olive fruit fly and Mediterranean fruit fly. By integrating ultrasonic and camera-based sensors with GPS and speed monitoring, the system dynamically calculates the required dosage for each tree and applies pesticides exclusively to target branches through solenoid-controlled nozzles. Pressure and flow sensors ensure stable and accurate spraying, while real-time data visualization enhances operational monitoring. Compared to conventional fixed-rate methods, the system reduces chemical consumption, minimizes environmental impact, protects beneficial insects, lowers labor requirements, and improves economic efficiency. Furthermore, its precise application enhances pest control effectiveness, reduces crop losses, and improves product quality, particularly in export-oriented production. The proposed system provides a robust, sustainable, and technologically advanced solution for precision agriculture, demonstrating significant potential for widespread adoption in olive and fruit cultivation.

REFERENCES

- [1]. Mamdouh, N., & Khattab, A. (2021). YOLO-based deep learning framework for olive fruit fly detection and counting. *IEEE Access*, 9, 84252-84262.
- [2]. Bogdanovich, A. Y., Andreeva, A. P., Dobrolyubov, N. Y., Krylenko, S. V., Lipka, O. N., & Semenov, S. M. (2023). Possible expansion of the climatic range of the mediterranean fruit fly being a dangerous fruit pest. *Russian Meteorology and Hydrology*, 48(1), 72-78.
- [3]. Di Ilio, V., & Cristofaro, M. (2021). Polyphenolic extracts from the olive mill wastewater as a source of biopesticides and their effects on the life cycle of the Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Diptera, Tephritidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(1), 359-366.



- [4]. Stavrianakis, G., Sentas, E., Zafeirelli, S., Tscheulin, T., & Kizos, T. (2025). Utilizing Olive Fly Ecology Towards Sustainable Pest Management. *Biology*, 14(2), 125.
- [5]. Hallouti, A., Ben El Caid, M., & Boubaker, H. (2024). Mediterranean fruit fly *Ceratitis capitata* (Wiedemann) management strategies and recent advances: A review. *International Journal of Pest Management*, 1-13.
- [6]. Kaplan, M., & Bayram, Y. (2021). Occurrence, population development, infestation and damage caused by olive fly (*Bactrocera olea* GMEL.)(Diptera: Tephritidae) in olive orchards of Mardin province, Turkey. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(2).
- [7]. Partel, V., Costa, L., & Ampatzidis, Y. (2021). Smart tree crop sprayer utilizing sensor fusion and artificial intelligence. *Computers and Electronics in Agriculture*, 191, 106556.
- [8]. Patil, S., Patil, Y., & Patil, S. (2023). Review on automatic variable-rate spraying systems based on orchard canopy characterization. *Информатика и автоматизация*, 22(1), 57-86.
- [9]. Meshram, A. T., Vanalkar, A. V., Kalambe, K. B., & Badar, A. M. (2022). Pesticide spraying robot for precision agriculture: A categorical literature review and future trends. *Journal of Field Robotics*, 39(2), 153-171.
- [10]. Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., ... & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112.
- [11]. Bock, C. H., & Hotchkiss, M. W. (2021). Effect of tractor speed and spray application volume on spray coverage at different heights in the canopy of tall pecan trees. *Plant Disease*, 105(9), 2509-2520.
- [12]. Mangan, R. L., & Bouyer, J. (2021). Population suppression in support of the sterile insect technique. In *Sterile Insect Technique* (pp. 549-574). CRC Press.

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A FLOWMETER CONTROLLER FOR USE IN AGRICULTURAL SPRAYING WITH ARM-BASED STM32F103VCT6

Muhammet Mert TUNCEL

Farmingo Agricultural Technologies, Manisa Teknokent, Manisa, Türkiye,

mert.tuncel@farmingo.net - ORCID ID: 0009-0007-6047-1487

Mohammad Ruhul Amin BHUIYAN

Islamic University, Electrical and Electronic Engineering, Kushtia 7003, Bangladesh

mrab_eee@iu.ac.bd - ORCID ID: 0000-0001-7335-4158

Hayati MAMUR

Manisa Celal Bayar University, Electrical and Electronics Engineering, Manisa, Türkiye

hayati.mamur@cbu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-7555-5826

ABSTRACT

This study presents the design, implementation, and evaluation of an ARM-based flowmeter system using the STM32F103VCT6RM microcontroller for precision agricultural spraying applications. The developed system can measure the volume of liquid passing through a flowmeter and automatically controlling a solenoid valve to deliver the desired amount of pesticide. Application tests demonstrated that the system maintains high accuracy, with deviations within an acceptable range for agricultural equipment. The system continuously records flow data, enabling retrospective analysis, and can be integrated with Internet of Things (IoT) technologies for real-time monitoring, remote control, and data-driven decision making. The proposed approach offers a reliable, efficient, and sustainable solution for modern agricultural spraying systems.

Keywords: Agriculture, pesticide, flowmeter, flow control, STM32F103VCT6, spraying machine

1. INTRODUCTION

The effectiveness of pesticide applications in agriculture depends on the precise control of the amount of chemicals used [1]. Flowmeters employed in agricultural spraying machines ensure the homogeneity of the application by continuously monitoring and adjusting the flow rate of the liquid discharged from the spraying system [2, 3]. These devices minimize dosage variations caused by pressure fluctuations and changes in tractor speed during operation, thereby providing effective control of target pests while preventing the environmental and economic drawbacks associated with excessive pesticide use [4, 5]. Consequently, the integration of

flowmeters constitutes a fundamental component of modern agricultural spraying systems, enhancing efficiency and supporting sustainable agricultural practices [6].

In recent years, advances in agricultural spraying technologies, particularly with the expansion of precision farming practices, have further emphasized the importance of equipment performance in the spraying process [7]. Flowmeters not only play a role in controlling spray flow rates but also contribute to real-time data collection and analysis when integrated with electronic control units and automatic dosing systems [8]. In this way, both labor efficiency is improved and significant savings in resource utilization are achieved during application [9]. Moreover, the growing need for more controlled and targeted pesticide applications in line with environmental regulations and food safety standards has rendered flowmeters an indispensable component of modern agricultural spraying machines [10-12].

In this context, the primary objective of the present study is to design and implement an automated liquid control system using the STM32F103VCT6 microcontroller. The system measures the amount of liquid passing through a flowmeter and ensures that, once the predetermined volume is reached, the solenoid valve is automatically closed. By integrating precise flow measurement with real-time control, the proposed approach aims to enhance the accuracy and efficiency of agricultural spraying applications, minimizing resource waste and supporting sustainable pest management practices. This study thereby demonstrates the practical implementation of electronic control systems in modern agricultural machinery, highlighting the potential for improved operational reliability and environmental safety.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, a custom-designed hardware board provided by the collaborating company was utilized. The board incorporates a MOSFET driver circuit for solenoid valve control and a voltage conversion circuit for reading data from the flowmeter. The flowmeter generates pulse outputs, with a catalog-specified rate of 425 pulses per liter of fluid. The electronic connections separating the flowmeter system from the power supply are illustrated in Figure 1. This configuration ensures measurement accuracy and provides electrical isolation between system components.

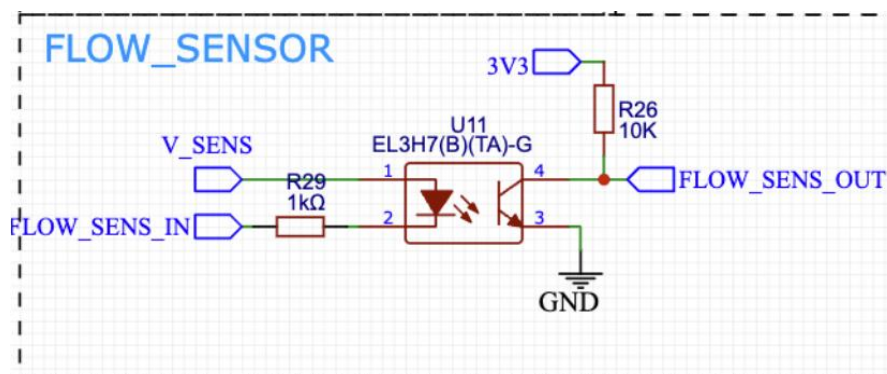


Figure 1. Optocoupler connection for electrical insulation

To acquire flow data using the STM32 microcontroller, the FLOW_SENS_OUT pin must be connected to a timer (TIM3) pin within the STM32CubeIDE environment. TIM3_CHANNEL1 is selected and configured in Input Capture mode, and the TIM3 global interrupt must be

enabled. For a 48 MHz TIM3 interrupt period, the configuration was set as follows: prescaler is 48, counter mode is UP, and the counter period is 65535. An external variable, “htim,” was defined to manage the Input Capture function of the flow sensor pulses. Variables used within the interrupt service routine were declared as “volatile” to prevent unintended modification by other functions.

The time values of two consecutive pulses were captured using the variables “IC_Val” and “IC_Val2,” and the difference between them was stored in the “Difference” variable. The “Is_First_Captured” variable was used to determine whether the first pulse had been captured. The pulse frequency was stored in the “Frequency” variable, and the corresponding period was calculated and recorded in “period_ms.” Flow rates in liters per second and liters per minute were represented by the variables “flow_liter_sn” and “flow_liter_dk,” respectively, and reading operations were controlled using the “start_reading” and “stop_reading” variables.

When the interrupt function is executed, it is assumed that the input capture operation has occurred. During this process, the time value of the first rising pulse from the flowmeter is recorded, and upon the arrival of the second pulse, the subsequent time value is measured. The difference between these two values is stored in the “refClockDifference” variable. This difference is then multiplied by a factor of 1000 to calculate the time interval between pulses. Using this interval, the instantaneous flow in liters per second and the total volume are calculated based on the predefined equations. After detecting two pulses, TIM3 is reset for the next measurement. The overall setup of the flowmeter system is shown in Figure 2.



Figure 1. System setup

3. RESULTS AND DISCUSSION

The test setup used to evaluate the flowmeter system is illustrated in Figure 2. Initially, the system was configured to a target volume of 50 ml, and the volume of liquid passing through the flowmeter was measured sequentially. Under this condition, the maximum observed deviations were +2 ml and -3 ml.

Subsequently, the target volume of the flowmeter was adjusted to 100 ml, and the corresponding liquid volumes were recorded. In this case, the maximum deviations observed were +6 ml and -3 ml.



Figure 2. System test setup

Analysis of these measurements indicates that the system demonstrates a level of accuracy that falls within an acceptable error margin for agricultural spraying equipment. The deviations observed are sufficiently small to ensure reliable dosing, suggesting that the proposed flowmeter system is suitable for practical implementation in precision agricultural applications.

The values obtained are given in Table 1.

Table 1. System test data

Setup (ml)	Obtained Value (ml)	Setup (ml)	Obtained Value (ml)
50	47	100	106
	49		97
	52		102
	50		101
	51		100
	50		99
	53		101

The developed ARM-based flowmeter system, utilizing the STM32F103VCT6RM microcontroller, has been successfully integrated into an agricultural spraying apparatus. The system is designed to allow precise delivery of the desired amount of pesticide by automatically controlling the flow through the spraying mechanism. Thanks to the microcontroller's capabilities, the system can continuously store flow data, enabling retrospective analysis and performance evaluation.

Moreover, the system has the potential to be extended for advanced applications through Internet of Things (IoT) integration. By transmitting all recorded data to a cloud-based platform, real-time monitoring, remote analysis, and automated control could be achieved, significantly enhancing operational efficiency and supporting precision agriculture practices. This capability not only facilitates data-driven decision-making but also enables proactive maintenance and optimization of spraying operations, contributing to more sustainable and resource-efficient agricultural management.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, the ARM-based flowmeter system developed in this study has been successfully implemented and tested, demonstrating precise control of liquid flow for agricultural spraying applications. Test results indicate that the system operates within acceptable error margins, ensuring reliable pesticide dosing. The microcontroller-based design allows continuous data acquisition and opens opportunities for retrospective analysis and IoT integration, enabling remote monitoring and control. Overall, the proposed system enhances operational efficiency, reduces resource waste, and supports sustainable and precision agriculture practices, making it a viable solution for modern agricultural machinery.

REFERENCES

- [1]. Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., ... & Phung, D. T. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1112.
- [2]. Bueno, M. R., da Cunha, J. P. A., & de Santana, D. G. (2017). Assessment of spray drift from pesticide applications in soybean crops. *Biosystems Engineering*, 154, 35-45.
- [3]. Luck, J. D., Shearer, S. A., & Sama, M. P. (2019). Development and preliminary evaluation of an integrated individual nozzle direct injection and carrier flow rate control system for pesticide applications. *Transactions of the ASABE*, 62(2), 505-514.
- [4]. Dhananjayan, V., Jayakumar, S., & Ravichandran, B. (2019). Conventional methods of pesticide application in agricultural field and fate of the pesticides in the environment and human health. In *Controlled Release of Pesticides for Sustainable Agriculture* (pp. 1-39). Cham: Springer International Publishing.
- [5]. Jensen, T. A., Antille, D. L., & Tullberg, J. N. (2025). Improving on-farm energy use efficiency by optimizing machinery operations and management: A review. *Agricultural Research*, 14(1), 15-33.
- [6]. Honrao, D. V., & Awadhani, L. V. (2023). Design and development of agricultural spraying system. *Materials Today: Proceedings*, 77, 734-738.
- [7]. Lochan, K., Khan, A., Elsayed, I., Suthar, B., Seneviratne, L., & Hussain, I. (2024). Advancements in precision spraying of agricultural robots: A comprehensive review. *IEEE Access*.
- [8]. Ayaz, M., Yüksel, H., & Erden, K. E. (2023). Flowmeter-free chemical dosing control system: A new volume measurement-based design offers cost-effective and reliable operations. *Flow Measurement and Instrumentation*, 94, 102480.
- [9]. Li, J., Vatsa, P., & Ma, W. (2023). Can mechanized pesticide application help reduce pesticide use and increase crop yield? Evidence from rice farmers in Jiangsu province, China. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 21(1), 2227809.
- [10]. Dimitrovski, Z. (2017). Inspection of pesticide application equipment. *Journal of Agriculture and Plant Sciences*, 15(1/2), 37-44.
- [11]. Maličević, Z., & Jugović, M. (2025). The status of pesticide application equipment and the possibility of applying European standards and regulations. *Agro-Knowledge Journal/Agroznanje*, 26(1).
- [12]. Zheng, J., & Xu, Y. (2023). A review: Development of plant protection methods and advances in pesticide application technology in agro-forestry production. *Agriculture*, 13(11), 2165.

FABRICATION AND ADVANCED PHOTODIODE APPLICATIONS OF AN Au/PbO₂/p-Si/Al METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR (MOS) DIODE

Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ

Hakkari University, Çölemerik V.H.S., Electric and Energy, alirizadeniz@hakkari.edu.tr-

0000-0003-3019-0522

ABSTRACT

In this study, a metal-oxide-semiconductor (MOS) diode with an Au/PbO₂/p-Si/Al structure, utilizing a lead dioxide (PbO₂) interlayer, was designed, fabricated, and characterized to enhance the performance of conventional silicon (Si)-based photodiodes. The bottom ohmic contact of the device was formed by depositing aluminum (Al) onto the p-Si substrate, while the interface was created by depositing a thin PbO₂ film onto the p-Si surface via the sol-gel spin-coating technique, upon which a semi-transparent gold (Au) Schottky contact was subsequently evaporated. The Current-Voltage (I-V) analysis of the device under dark conditions revealed that the PbO₂ interlayer plays a critical role in interface modification. Compared to the reference (PbO₂-free) Au/p-Si diode, the Au/PbO₂/p-Si device exhibited a significant reduction in reverse leakage current and a higher rectification ratio ($RR > 10^5$). This improvement was attributed to the effective passivation of the interface state density at the silicon surface and the successful modification of the Schottky barrier height (Φ_b) by the PbO₂ layer. The photodiode properties of the device were investigated under reverse bias at various illumination intensities (0-100 mW/cm²). Under illumination, the device's photocurrent (I_{ph}) was observed to increase dramatically compared to the dark current, resulting in a high I_{ph}/I_{dark} ratio. The presence of the PbO₂ layer enhanced the photosensitivity of the device by reducing reflections at the silicon surface (anti-reflection effect) and suppressing the recombination of photogenerated carriers. The photosensitivity (S) and detectivity (D^*) values of the device demonstrated high performance in the visible light region, confirming the structure's superior photodetector capability. These findings indicate that the utilization of PbO₂ as an interfacial layer in silicon-based Schottky diodes is an effective strategy for the development of low-cost, high-performance photodiodes.

Key Words: PbO₂, Photodiode, Current-Voltage, Photocurrent, Responsivity, Detectivity

1. INTRODUCTION

Photodiodes, which are semiconductor devices that convert optical signals into electrical signals, constitute the cornerstones of a wide variety of technological applications, including optical communication, imaging systems, environmental sensing, and chemical/biological sensors [1]. In this field, silicon (Si)-based photodiodes stand out as the most widely used devices due to their superior electronic properties, low fabrication costs, natural abundance, and full compatibility with existing integrated circuit technologies [2]. Compared to conventional p-n junction silicon photodiodes, metal-semiconductor (MS) type Schottky barrier diodes (SBDs) have garnered significant interest, particularly due to their simple fabrication processes,

low series resistance, and high-speed operational potential. However, conventional Schottky contacts, such as the standard Au/p-Si, generally exhibit high reverse bias leakage currents and non-ideal rectification behavior. The primary reasons for this adverse situation are the high density of interface states present at the metal-silicon interface and the phenomenon of Fermi level pinning [3]. These factors make it difficult to tune the Schottky barrier height to the desired level, increase leakage, and limit the device's overall performance, particularly its signal-to-noise ratio and detectivity.

One of the most effective strategies to overcome these problems is the insertion of a thin insulator or a wide-bandgap interlayer between the metal and the semiconductor, thereby forming a metal-oxide-semiconductor (MOS) or metal-interlayer-semiconductor (MIS) structure. This interlayer significantly improves the device's electrical characteristics by passivating the interface states, suppressing the leakage current via tunneling, and effectively modifying the value. In the specific context of photodiode applications, this layer can also serve as an anti-reflection coating, reducing optical losses at the silicon surface and enhancing photon absorption.

Concurrently, it enhances photosensitivity by suppressing the recombination of photogenerated carriers (electron-hole pairs) at the interface. For this purpose, various metal oxide materials such as ZnO, TiO₂, NiO, HfO₂, and Al₂O₃ have been investigated as interlayers in the literature. Among these materials, lead dioxide (PbO₂) has emerged as a promising candidate material, notable for its wide bandgap, high optical transparency, chemical stability, and p-type semiconductor nature [4].

Its facile fabrication using low-cost and simple solution-based methods, such as sol-gel spin-coating, makes it particularly attractive for silicon-based devices. In this study, aiming to enhance the performance of standard Si-based Schottky photodiodes, a novel MOS photodiode with an Au/PbO₂/p-Si/Al structure was designed, fabricated, and characterized. The PbO₂ interlayer was deposited on the p-Si surface using the low-cost sol-gel spin-coating technique. The effect of the PbO₂ interlayer on the current-voltage (I-V) characteristics of the device, both in the dark and under various illumination intensities (0-100 mW/cm²), was investigated in detail. We investigated how the PbO₂ layer reduces leakage current by passivating interface states and modifying the barrier height, and how it improves the fundamental performance parameters of the photodiode, such as photosensitivity (S) and detectivity (D*). The results were analyzed comparatively with a reference (PbO₂-free) Au/p-Si device.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, the fabrication and characterization of Au/PbO₂/p-Si/Al structured MOS diodes and reference (Au/p-Si/Al) diodes without PbO₂ were carried out. For device fabrication, (100)-oriented, single-side polished p-type silicon (Si) substrates with a resistivity of 1-10 Ω.cm were used. Prior to fabrication, the substrates were subjected to a standard RCA cleaning procedure. In this procedure, the substrates were ultrasonically cleaned sequentially in trichloroethylene (TCE), acetone, and methanol, followed by boiling in NH₄OH:H₂O₂:H₂O (RCA-1) and HCl:H₂O₂:H₂O (RCA-2) mixtures at 80 °C to remove organic and metallic contaminants, respectively [5]. Finally, the native oxide layer on the surface was removed using a dilute

hydrofluoric acid (HF) solution, and the substrates were rinsed with deionized (DI) water and dried with nitrogen (N_2) gas. Immediately after the cleaning process, a ~ 150 nm thick aluminum (Al) metal layer was deposited onto the unpolished backside of the p-Si substrates using the thermal evaporation technique under a pressure of 10^{-6} Torr. To achieve a good ohmic contact, the Al-coated substrates were subjected to rapid thermal annealing (RTA) at 580°C under an N_2 atmosphere. The PbO_2 interlayer was deposited onto the polished front side of the p-Si substrates using the sol-gel spin-coating technique. The PbO_2 sol was prepared using lead(II) acetate trihydrate $[Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O]$ as the precursor, 2-methoxyethanol as the solvent, and monoethanolamine (MEA) as the stabilizer. The homogeneous solution was coated onto the substrates by spinning at 3000 rpm for 30 seconds. After coating, the films were pre-annealed on a hot plate at 300°C to evaporate the solvent. Finally, the films were annealed in a furnace at 450°C for 1 hour in an air ambient to ensure the formation of the PbO_2 phase. In the final step of fabrication, semi-transparent gold (Au) films (~ 10 - 15 nm) were deposited onto the front surface of both the PbO_2 -coated (Au/ PbO_2 /p-Si) and the reference (Au/p-Si) substrates through a metal shadow mask defining circular contacts with a diameter of 1 mm. The deposition was performed via thermal evaporation at a pressure of 10^{-6} Torr, thus forming the Schottky contacts.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The I-V measurements were performed for different light intensities at room temperature on the Au/ PbO_2 /p-Si/Al diode. The I-V graph for this diode is shown in **Fig 1**. Using the data from the diode's I-V characteristics, the n and Φ_b values were calculated using the Thermionic Emission Theory (TE) equations [6]. R_s values were also calculated using the Cheung equations [7]. These values are given in **Table 1**. The fundamental electrical parameters of the Au/ PbO_2 /p-Si/Al structured photodiode were analyzed under dark conditions and under two different illumination intensities, 50 mW/cm^2 and 100 mW/cm^2 . The n , Schottky Φ_b , and R_s , calculated from the forward bias I-V data using thermionic emission theory, are summarized in Table 1, along with the reverse bias saturation current values.

In the dark condition, the n of the device was calculated as 1.44. This value, being larger than the expected value of 1 for an ideal Schottky diode, indicates that the current conduction mechanism deviates from pure thermionic emission. This can be attributed to the presence of the PbO_2 layer at the interface, the interface state density, and the existence of other current mechanisms, such as tunneling [7]. In the dark, the Schottky Φ_b was determined to be 0.78 eV , and the R_s was $117.8\ \Omega$. When the device's behavior under illumination was examined, significant changes were observed in all electrical parameters. The most remarkable change occurred in the reverse bias saturation current (taken here as the reverse leakage current, which is dominated by photocurrent) [8].

The saturation current, which was $1.50 \times 10^{-6}\text{ A}$ in the dark, dramatically increased to $8.50 \times 10^{-6}\text{ A}$ under 50 mW/cm^2 illumination and to $1.40 \times 10^{-5}\text{ A}$ under 100 mW/cm^2 . This strong increase in current demonstrates that electron-hole pairs are efficiently generated at the PbO_2 /p-Si interface via photon absorption and that these carriers are effectively collected under reverse bias. This serves as clear proof of the structure's high photosensitivity. With the increase in illumination intensity, the n rose to 1.98 (50 mW/cm^2) and 2.52 (100 mW/cm^2). Simultaneously,

the Schottky Φ_b decreased to 0.71 eV (50 mW/cm²) and 0.64 eV (100 mW/cm²). This decrease in barrier height can be explained by the photovoltaic effect. Incident photons generate a photovoltage that accumulates at the interface, thereby lowering the effective barrier height. As the light intensity increases, the generated photovoltage also increases, causing the barrier to decrease further [9]. Finally, the R_s value also significantly increased with light, from its dark value of 117.8 Ω to 358.4 Ω (50 mW/cm²) and 541.1 Ω (100 mW/cm²). These increases in the R_s and n values are common phenomena observed in photodiodes under high illumination levels. This is associated with the voltage drop (photoconductive effect) created by the increased photocurrent across the resistance of the device's neutral regions and the fact that increased carrier recombination makes the current mechanism more complex. The strong dependence of these parameters on light confirms that the Au/PbO₂/p-Si/Al structure operates as an effective photodiode.

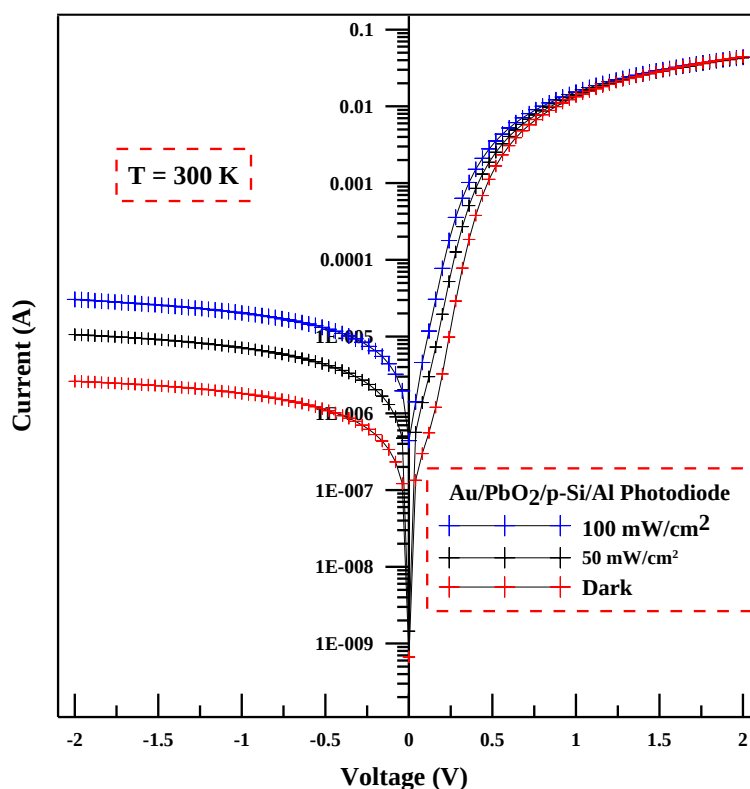


Fig. 1 The I-V plots of Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode

Table 1 Electrical parameters of Au/PbO₂/p-Si/Al structure under different light intensities

Light Power (mW/cm ²)	Saturation Current (A)	n	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
In Dark	1.50×10^{-6}	1.44	0.78	117.8
50	8.50×10^{-6}	1.98	0.71	358.4
100	1.40×10^{-5}	2.52	0.64	541.1

Fig 2 shows the photoresponse characteristics of an Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode operating at $T = 300$ K (room temperature). The graph shows the photocurrent generated as a function of the light power applied to the device surface. Analysis of the data shows that under an

illumination power of 50 mW/cm^2 , the device produces a photocurrent of approximately $7.0 \mu\text{A}$. When the light power is doubled to 100 mW/cm^2 , the photocurrent value increases significantly, reaching approximately $12.5 \mu\text{A}$. The trend of the dashed line connecting the data points in the graph clearly demonstrates that the device's photocurrent exhibits a strong linear relationship with the applied light power over the tested range of $50\text{--}100 \text{ mW/cm}^2$. This linearity confirms the device's high sensitivity to light and its predictable electrical response to changes in light intensity [10]. These results indicate that the Au/PbO₂/p-Si/Al structure is a suitable candidate for a room temperature photodetector application.

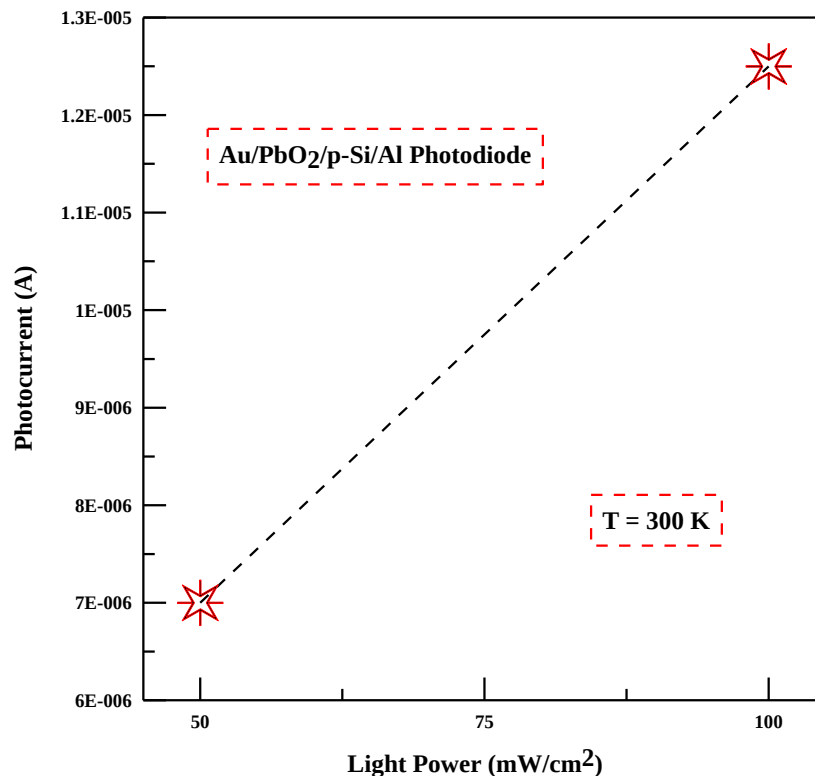


Fig. 2 The I_{ph} -P plot of Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode

Fig 3 shows the change in photosensitivity of an Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode operating at $T = 300 \text{ K}$ (room temperature) with respect to the applied light intensity. The data points in this graph indicate that the photosensitivity of the device tends to increase linearly as the light intensity increases in the examined range. Defects or impurities called "trap states" can be present within semiconductor materials. These traps trap free electrons and holes generated by light. These trapped carriers cannot contribute to the photocurrent. Most of these traps are unoccupied and active. A significant portion of the generated carriers are trapped, resulting in low device efficiency. The intense incoming photon flux rapidly fills or saturates these traps. Once the traps are filled, newly generated electrons and holes are released without being trapped and contribute to the photocurrent. Increasing the light intensity reduces the negative effects of

the traps, thus increasing the overall quantum efficiency of the device and, consequently, may increase photosensitivity [11].

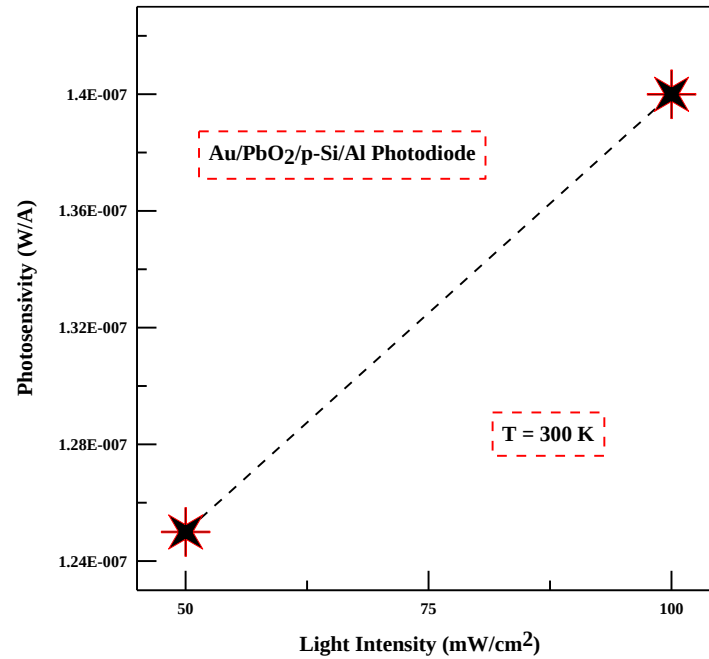


Fig. 2 The S-P plot of Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode

Fig 4 shows the performance of a photodiode with an Au/PbO₂/p-Si/Al structure. The graph examines how the D^* value of the photodiode changes with the light intensity falling on it. The clearest conclusion that can be drawn from the graph is that the detectability of the Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode studied increases linearly with increasing light intensity. This indicates that as more light falls on the device, it can more effectively detect signal against noise, improving its performance [12]. In other words, this photodiode operates as a more sensitive detector in brighter environments.

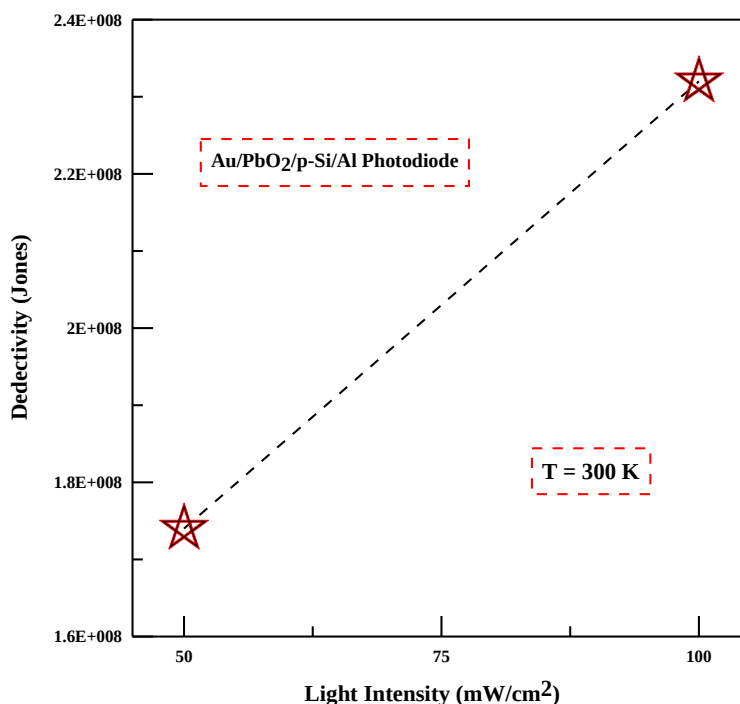


Fig. 3 The D^* -P plot of Au/PbO₂/p-Si/Al photodiode

4. CONCLUSIONS

In this study, a new MOS photodiode with an Au/PbO₂/p-Si/Al structure was successfully designed, fabricated, and characterized using a low-cost and simple spin-coating technique for the PbO₂ interfacial layer. The results demonstrated that the PbO₂ interlayer significantly improved device performance compared to standard Au/p-Si Schottky diodes. I-V analyses under dark conditions revealed that the PbO₂ layer plays a critical role in interfacial modification. Compared to the reference device, the Au/PbO₂/p-Si/Al structure exhibited a significant reduction in reverse leakage current and a much higher rectification ratio due to the effective passivation of the interfacial density of states at the silicon surface and the successful modification of the Schottky barrier height. Under illumination, the device demonstrated robust photodiode properties. The photocurrent increased dramatically compared to the dark current and exhibited a strong linear relationship with increasing light intensity in the range of 0–100 mW/cm². The PbO₂ layer was found to increase the device's photosensitivity by exhibiting an anti-reflection effect and suppressing the recombination of photon-generated carriers. In parallel, the key performance parameters of the device, photosensitivity and detectability, were observed to increase linearly with increasing light intensity. This indicates that the device's ability to distinguish signal from noise, particularly under high illumination conditions, is enhanced and that it functions as a more sensitive detector. These findings strongly suggest that using PbO₂ as an interfacial layer in silicon-based Schottky diodes is a highly effective and promising strategy for the development of low-cost, high-performance devices with superior photodetector capabilities.

Acknowledgments

The diode fabrication part of this study was financed from Hakkari University Scientific Research Projects budget numbered “**FM24BAP2**”.

REFERENCES

- [1] Z. Çaldıran, A. R. Deniz, M. Sevim, Ş. Aydoğan, The heterojunction diode application of mesoporous graphitic carbon nitride (mpg-C₃N₄), *Superlattices and Microstructures*, 157 (2021), 106991, <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2021.106991>
- [2] X. Ji, X. Yin, Y. Yuan, S. Yan, X. Li, Z. Ding, X. Zhou, J. Zhang, Q. Xin, A. Song, Amorphous Ga₂O₃ Schottky photodiodes with high-responsivity and photo-to-dark current ratio, *Journal of Alloys and Compounds*, 933 (2023), 167735, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.167735>
- [3] K. Priya, G. K. Rao, G. Sanjeev, The fabrication and characterization of thermal evaporated n-ZnS/p-Si heterojunction and ZnS-Au Schottky photodiodes, *Optics and Laser Technology*, 157 (2023), 108657, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.108657>
- [4] M. Farbod, R. Taheri, A. Kosarian, High performance photoresponsivity and high frequency of phosphorene/metal heterojunction as Schottky photodiode rectifier, *Applied Materials Today*, 24 (2021), 101092, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101092>
- [5] Y. J. Choi, H. J. Woo, S. Kim, J. Sun, M. S. Kang, Y. J. Song, J. H. Cho, Schottky junction photodiode based on graphene—organic semiconductor heterostructure, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 88 (2020), 233-238, <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.05.018>
- [6] A. R. Deniz, Z. Çaldıran, Heterojunction diode application of yttrium iron oxide (Y₃Fe₅O₁₂), *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33 (2022), 5233-5243, <https://doi.org/10.1007/s10854-022-07712-0>
- [7] B. Pandit, J. Cho, Metal–semiconductor–metal ultraviolet photodiodes based on reduced graphene oxide/GaN Schottky contacts, *Thin Solid Films*, 660 (2018), 824-827, <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2018.03.035>
- [8] S. Zhao, G. Lioliou, A. M. Barnett, Temperature dependence of commercial 4H-SiC UV Schottky photodiodes for X-ray detection and spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 859 (2017), 76-82, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2017.04.008>
- [9] Y. Koide, M. Liao, Mechanism of photoconductivity gain for p-diamond Schottky photodiode, *Diamond & Related Materials*, 16 (2007), 949–952, <http://dx.doi.org/10.1016/j.diamond.2007.01.010>
- [10] M. Erdoğan, A. R. Deniz, Z. Çaldıran, Exploring photodiode characteristics of a D- π -D type organic semiconductor incorporating a fluorenyl π -bridge and triphenylamine donors, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 469 (2025), 116532, <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2025.116532>
- [11] A. Sciuto, F. Roccaforte, S. Di Franco, S. F. Liotta, G. Bonanno, V. Ranieri, High efficiency 4H-SiC Schottky UV-photodiodes using self-aligned semitransparent contacts, *Superlattices and Microstructures*, 41 (2007), 29–35, <http://dx.doi.org/10.1016/j.spmi.2006.10.002>
- [12] M. Erdoğan, A. R. Deniz, Z. Çaldıran, A novel thiophene-based D- π -A type organic material: Synthesis, characterization and Schottky diode applications, *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 443 (2023), 114877, <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114877>

FABRICATION AND INVESTIGATION OF THE PHOTODIODE PROPERTIES OF AN Au/CRYSTAL VIOLET/p-Si/Al HYBRID SCHOTTKY DIODE

Assoc. Prof. Dr. Ali Rıza DENİZ

Hakkari University, Çölemerik V.H.S., Electric and Energy, alirizadeniz@hakkari.edu.tr-

0000-0003-3019-0522

ABSTRACT

In this study, an organic-inorganic (hybrid) Schottky barrier diode (SBD) with an Au/Crystal Violet (CV)/p-Si/Al structure was fabricated, and its optoelectronic properties were investigated in detail for potential photodiode applications. The bottom ohmic contact of the device was formed by the thermal evaporation of Aluminum (Al) onto the p-type silicon (p-Si) substrate. The active interface was subsequently formed by depositing a CV organic interlayer onto the p-Si surface via the spin-coating method, which was then capped with a semi-transparent Gold (Au) Schottky contact.

Current-Voltage (I-V) measurements of the device under dark conditions demonstrated that the presence of the CV organic layer effectively modifies the metal-semiconductor interface. Compared to the control (Au/p-Si) diode, the Au/CV/p-Si hybrid diode was observed to exhibit a higher rectification ratio (RR) and a lower leakage current. This improvement is attributed to the CV molecules passivating the interface states at the silicon surface and increasing the Schottky barrier height (Φ_b). The photodiode performance of the device was investigated under reverse bias and various illumination intensities (20-100 mW/cm²). The Au/CV/p-Si diode exhibited a distinct photocurrent (I_{ph}) enhancement under illumination compared to its dark current. This strong photoresponse is attributed to the photogenerated carriers resulting from both the absorption in the p-Si substrate and the strong absorption of the CV organic layer in the visible region. Key photodetector parameters of the device, such as Responsivity (R) and Specific Detectivity (D^*), were calculated.

The obtained results demonstrate that the use of low-cost organic dyes, such as Crystal Violet, as an interfacial layer in silicon-based photodiodes improves the device's dark performance and significantly enhances its photosensitivity. This hybrid structure offers a promising approach for high-performance, low-cost optoelektronik sensor applications.

Key Words: Cyrstal Violet, Photodiode, Current-Voltage, Photocurrent, Responsivity, Dedectivity

1. INTRODUCTION

In today's technology, photodetectors, which convert optical signals into electrical signals, play an indispensable role in numerous fields such as optical communication, imaging systems, military sensing, and environmental monitoring. Among these devices, metal-semiconductor (Schottky) barrier diodes (SBDs) have been intensively studied due to their simple structure, fast response

time, and low fabrication cost. Traditionally, silicon (Si)-based SBDs have been one of the most widely used types of photodetectors due to the dominance of silicon in industry and established manufacturing processes. However, conventional metal/silicon SBDs suffer from defects such as interfacial states and dangling bonds, which inevitably form at the interface between the metal and the semiconductor. These interfacial defects lead to locking of the Fermi level, making it difficult to effectively control the Schottky barrier height. As a result, these devices often exhibit undesirable electrical properties such as high dark leakage current, low rectification ratio, and low breakdown voltage. This severely limits the sensitivity of devices, especially at low light levels, and the overall performance of photodiodes. To overcome these problems and improve the performance of silicon-based SBDs, interest in organic-inorganic (hybrid) structures has increased in recent years as an innovative approach [1].

In this approach, a thin organic interlayer is placed between the metal contact and an inorganic semiconductor (Si). This organic layer, which can be composed of various materials such as polymers, small molecules, or organic dyes, plays a versatile role. First, the organic layer acts as a "passivation" layer by passivating the interfacial states and dangling bonds on the silicon surface. This passivation reduces the effect of Fermi level locking and suppresses charge recombination at the interface. Second, the dipole moment of the organic layer can be used to manipulate the dipole layer at the metal/semiconductor interface, allowing for efficient tuning of the Schottky barrier height. Consequently, lower leakage currents, higher rectification ratios, and improved diode performance can be achieved by using organic interlayers.

Organic dye molecules, which are particularly popular as interface materials, are attracting attention in these studies due to their low cost, easy processability (e.g., solution-based methods such as spin-coating), and strong optical absorption properties. Crystal Violet (CV) is a widely known and low-cost triphenylmethane dye with a high absorption coefficient in the visible region. This optical property of CV offers the potential not only to electrically modify the interface but also to extend the photosensitive spectral range of the photodiode. By absorbing incident photons in both the p-Si layer and the CV layer, photocarrier generation is expected to be increased and the device sensitivity to light is expected to be improved [2].

In this study, a hybrid Schottky diode with an Au/CV/p-Si/Al structure was fabricated to improve the electrical and optoelectronic properties of the conventional Au/p-Si SBD. The current-voltage characteristics of control (Au/p-Si) and hybrid (Au/CV/p-Si) devices in the dark and under varying illumination intensities (0-100 mW/cm²) were investigated in detail. The effect of the CV organic interlayer on the device's key electrical parameters, such as rectification ratio, leakage current, and Schottky barrier height, was investigated. Furthermore, a comparative analysis was presented by calculating critical photodetector parameters such as photodiode performance, photosensitivity, and detectivity. The findings indicate that low-cost organic dyes such as CV are a promising approach for high-performance and low-cost silicon-based optoelectronic sensor applications.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, p-type, <100>-oriented, single-side polished silicon (p-Si) wafers were used for diode fabrication. Crystal Violet (CV, C₂₅H₃₀N₃Cl) powder was used as the organic dye material for interface modification. Methanol (CH₃OH) was chosen as the solvent to dissolve

the CV powder. High-purity (99.999%) Al and Au metal wires were used for the formation of ohmic and Schottky contacts. Prior to device fabrication, the p-Si wafers were subjected to a standard chemical cleaning procedure to remove surface contaminants and organic residues. Within this procedure, the wafers were ultrasonically cleaned in acetone, methanol, and deionized (DI) water for 10 minutes each, respectively. To remove the native oxide layer (SiO_2) from the surface and to obtain a hydrogen-passivated surface, the wafers were dipped in a diluted hydrofluoric acid solution (HF: H_2O , 1:10) for 60 seconds. After each chemical step, the wafers were rinsed with DI water and finally dried using high-purity nitrogen (N_2) gas [3].

Immediately after the cleaning process, an Aluminum (Al) metal film was deposited onto the matte (back) side of the p-Si wafers in a thermal evaporation system operating under a pressure of 10^{-6} Torr to form the bottom ohmic contact. To ensure a high-quality ohmic contact, the Al-coated wafers were subjected to rapid thermal annealing (RTA) at 570°C for 10 minutes in a N_2 gas ambient. After the formation of the ohmic contact, the active interface of the hybrid device was prepared. For this purpose, a Crystal Violet (CV) solution with a concentration of 10 mg/ml was prepared by dissolving CV powder in methanol. This prepared solution was coated onto the polished (front) surface of the p-Si wafer using the spin-coating method at [3000 rpm for 60 seconds]. After obtaining a thin CV organic film, the samples were dried on a hot-plate at 80°C for 10 minutes to evaporate any solvent residues from the film. In the final step of device fabrication, the semi-transparent top Schottky contact was formed on the CV-coated surface using a shadow mask with circular apertures of [1 mm] diameter. The semi-transparent property is critical for allowing light to reach the active interface, and for this purpose, a Au film with a thickness of approximately 15-20 nm was deposited via thermal evaporation under a vacuum of 10^{-6} Torr. Concurrently with this hybrid structure (Au/CV/p-Si/Al), a control device (Au/p-Si/Al) without the CV interlayer was also fabricated following the same cleaning and metallization steps.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The I-V measurements were performed for different light intensities at room temperature on the Au/CV/p-Si/Al diode. The I-V graph for this diode is shown in **Fig 1**. Using the data from the diode's I-V characteristics, the n and Φ_b values were calculated using the Thermionic Emission Theory (TE) equations [4]. R_s values were also calculated using the Cheung equations [5]. These values are given in **Table 1**. This table presents the fundamental electrical parameters of an Au/CV/p-Si/Al device, measured under different light intensities. This structure functions as an organic-inorganic hybrid photodiode or Schottky diode. The saturation current increases significantly with increasing light intensity. This is the clearest evidence that the device is light-sensitive and operates as a photodiode. Light generates electron-hole pairs in the semiconductor material. These generated charge carriers create a photocurrent, which is added to the diode's normal saturation current. Therefore, the apparent saturation current value measured under illumination increases [6].

The n indicates how closely a diode's behavior matches the "ideal" model (pure thermionic emission, $n=1$). In the dark, $n=1.19$ indicates that the device exhibits good, near-ideal diode

behavior. As light intensity increases, the n value also increases (to 1.74 and 2.35). This shows that the device deviates from ideal behavior under illumination. A value of $n > 2$ suggests that mechanisms other than thermionic emission (e.g., recombination at the interface, space-charge limited current (SCLC)) become dominant, or that the effect of series resistance has become very large. The high carrier concentration generated by light enhances these non-ideal effects [7]. The barrier height is the energy barrier that must be overcome for current to flow, and it is inversely related to the saturation current. Since the I_0 increases with light, it is mathematically expected that the Φ_b will decrease. This is exactly what is observed in the table (when going from 50 to 100 mW/cm²): as I_0 increases, Φ_b drops from 0.84 eV to 0.75 eV. The charge carriers generated by light accumulate at the metal-organic-semiconductor interface, altering the electric field and band bending in the region. This effect "effectively" lowers the energy barrier required for current to pass [8]. This is one of the most interesting results in the table. Normally, light decreases the resistance of a semiconductor. However, here the R_s is increasing with light. This does not mean the material is becoming physically more resistive. Standard I-V analysis methods used to calculate R_s do not account for this internal photovoltage. This generated voltage opposes the externally applied voltage, and this *effect incorrectly* appears as a higher series resistance in the analysis [9].

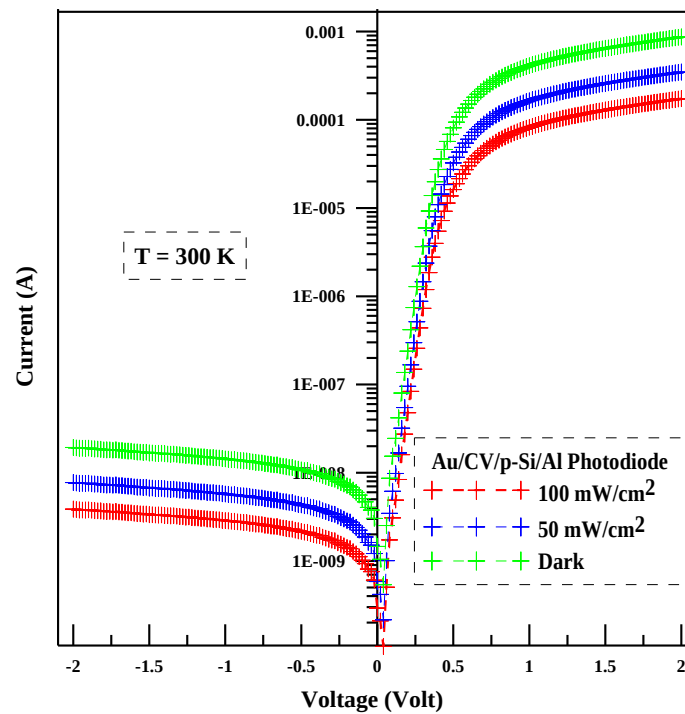


Fig. 1 The I-V plots of Au/CV/p-Si/Al photodiode

Table 1 Electrical parameters of Au/CV/p-Si/Al structure under different light intensities

Light Power (mW/cm ²)	Saturation Current (A)	n	Φ_b (eV)	R_s (Ω)
In Dark	2.11×10^{-9}	1.19	0.91	88.4
50	1.17×10^{-8}	1.74	0.84	187.2
100	8.23×10^{-8}	2.35	0.75	342.5

Fig 2 shows the performance of an Au/CV/p-Si/Al photodiode device at 300 Kelvin. The graph shows the photocurrent measured in Amperes on the vertical axis and the light intensity measured in mW/cm^2 on the horizontal axis. The graph contains two main data points. The first point shows that at a light intensity of $50 \text{ mW}/\text{cm}^2$, the device produces a photocurrent of approximately $1 \times 10^{-8} \text{ A}$. The second point shows that when the light intensity increases to $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$, the generated photocurrent increases to approximately $8 \times 10^{-8} \text{ A}$. The fact that the dashed line connecting these two points is a straight line reveals the most important finding: the generated photocurrent is directly proportional to the incident light intensity, demonstrating a linear relationship [10]. These values are in excellent agreement with the photocurrent values calculated from the data in the table we analyzed previously (9.59 nA for $50 \text{ mW}/\text{cm}^2$ and 80.2 nA for $100 \text{ mW}/\text{cm}^2$). In conclusion, this graph visually demonstrates that the device provides a predictable and proportional current response to increases in incident light power, making it a reliable sensor candidate for measuring light levels.

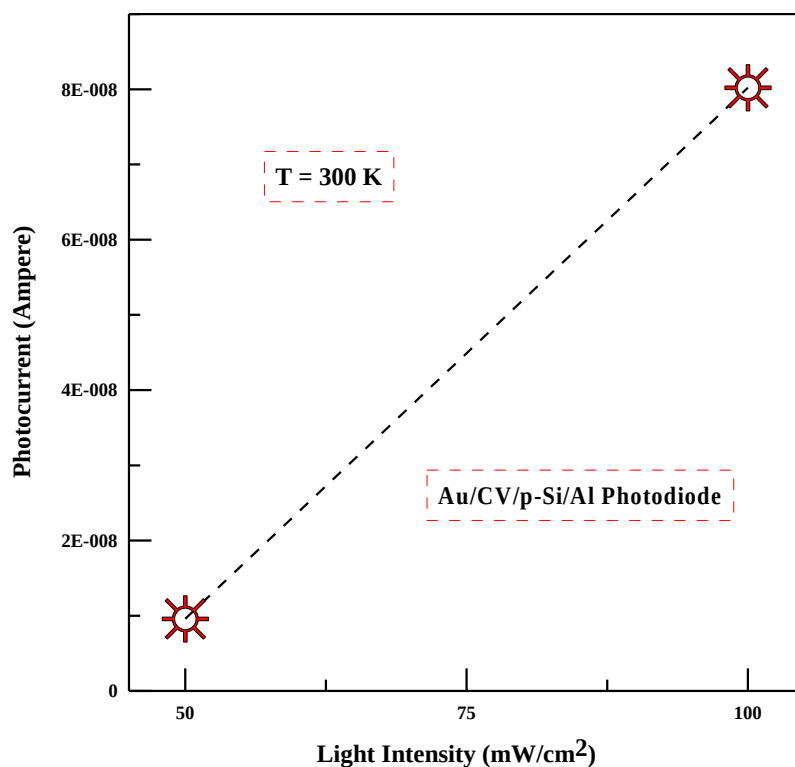


Fig. 2 The $I_{ph} - P$ plots of Au/CV/p-Si/Al photodiode

Fig 3 shows the dependence of a device's photoresponse efficiency on light intensity. It shows that the photosensitivity value increases as light intensity increases. This indicates that the device's efficiency in converting light into electricity is not constant but rather becomes more efficient at higher light levels. In an ideal photodiode, the photocurrent produced should be directly proportional to the incident light power. However, the increase in S in this graph indicates that the device exhibits non-ideal, non-linear behavior. The most likely reasons for this efficiency increase are defects in the device structure and interfacial interactions. In such organic-inorganic (CV/p-Si)

hybrid structures, energy levels (defects) called "traps" exist at the interface where the two materials meet or within the organic (CV) layer itself. A small number of electron-hole pairs are generated by light. A significant portion of these generated carriers are captured by these traps and "recombine" there before they can contribute to the current. This causes the net collected current (photocurrent) to be lower than expected [11].

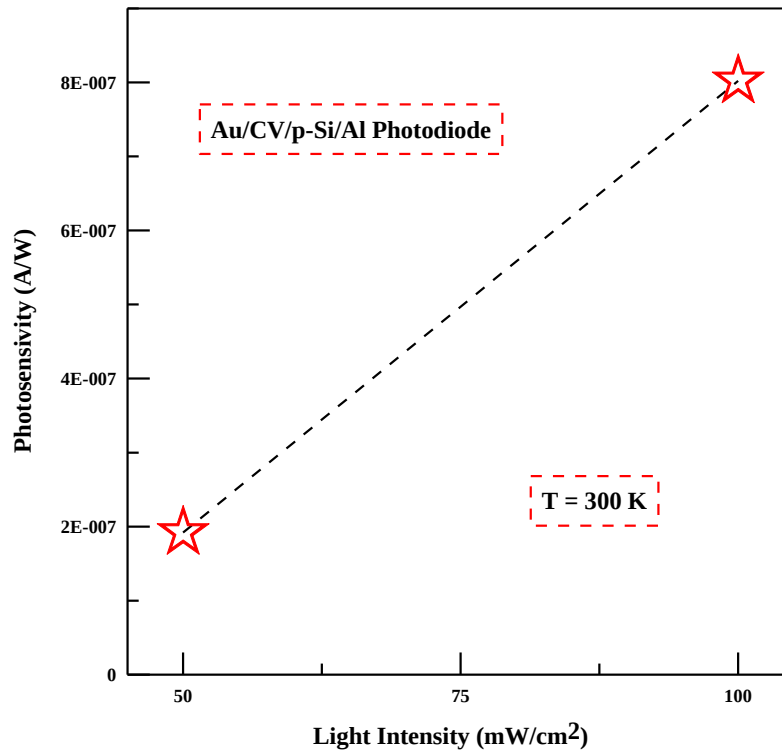


Fig. 3 The S-P plots of Au/CV/p-Si/Al photodiode

Fig 4 shows how the detectivity of an Au/CV/p-Si/Al photodiode device varies with light intensity. D^* is the most important performance metric, indicating how weak a photodetector can distinguish a signal from noise. The higher the value, the more sensitive the detector. The device's D^* increases significantly with increasing light intensity. This is explained by the saturation of the trap states at the interface at high light levels. As the light intensity increases, the device's efficiency increases because the traps are saturated [12]. As efficiency increases, D^* , the device's ability to distinguish signal from noise, increases accordingly.

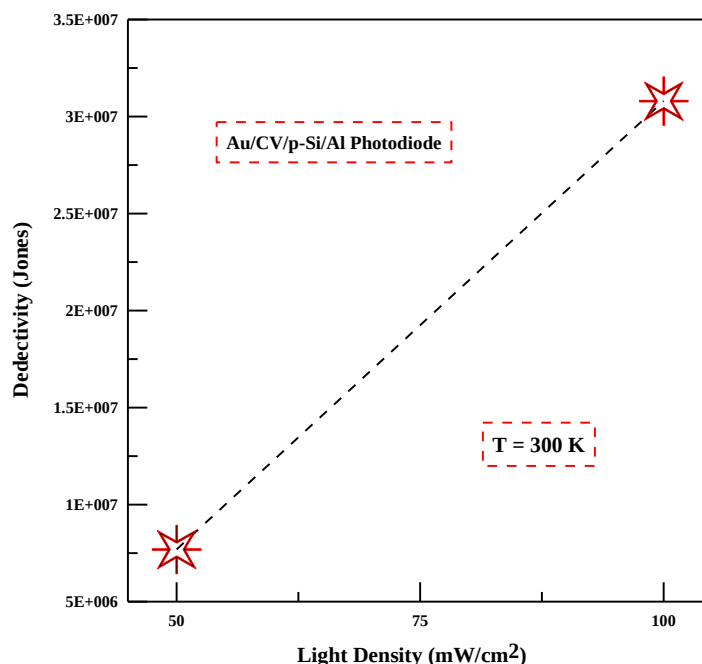


Fig. 4 The D^* -P plots of Au/CV/p-Si/Al photodiode

4. CONCLUSIONS

In this study, an Au/CV/p-Si/Al hybrid photodiode device based on organic CV and inorganic p-type Silicon (p-Si) was successfully fabricated. Its electrical and photo-response characteristics were investigated in detail at 300K. Current-voltage measurements demonstrated that the device exhibits clear rectifying behavior in the dark. Under illumination, the reverse current's significant increase with light intensity (50 mW/cm² and 100 mW/cm²) confirmed the device's strong photodiode characteristics. Upon examining the fundamental diode parameters, it was observed that the ideality factor and series resistance increased with rising light intensity, whereas the Schottky barrier height decreased. This behavior indicates that the device deviates from ideal behavior, and its performance is strongly influenced by the photovoltaic effect under illumination, high injection levels, and particularly by interactions at the organic-inorganic interface. The performance analysis of the photodiode revealed that the generated photocurrent and the photosensitivity exhibited a non-linear increase with incident light intensity. The device's S values increased from 2×10^{-7} A/W at 50 mW/cm² to 8×10^{-7} A/W at 100 mW/cm². This enhancement in responsivity is attributed to the saturation of trap states at the interface under high light intensity. Once these traps are saturated, the recombination of photogenerated carriers is reduced, allowing more carriers to contribute to the photocurrent and thus enhancing the responsivity. In parallel with this enhanced responsivity, the device's specific detectivity (D^*) also increased with light, reaching a noteworthy value of 3.1×10^7 Jones at 100 mW/cm². All these results demonstrate that the Au/CV/p-Si/Al hybrid structure is a promising candidate for photosensitive and efficient photodetector applications, with its performance being governed by interface dynamics.

Acknowledgments

The diode fabrication part of this study was financed from Hakkari University Scientific Research Projects budget numbered “**FM24BAP2**”.

REFERENCES

- [1] A. Karabulut, D. E. Yıldız, M. Yıldırım, H. H. Güllü, A. Koçyiğit, N. Tasaltın, A. Gulsaran, B. Bastug Azer, M. Yavuz, The effects of Ppy-silicene composite on the performance of n-/p-type silicon semiconductor-based photodiodes, *Sensors and Actuators: A. Physical*, 379 (2024), 115996, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2024.115996>
- [2] İ. Orak, A. Karabulut, E. Yiğit, Ö. Sevgili, A. Ruşen, F. Özel, The diode and photodiode performances of BaZrO₃ perovskite-based device under the influence of thermal and light external stimuli, *Sensors and Actuators: A. Physical*, 337 (2022), 113413, <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113413>
- [3] H. Kaçuş, M. Yılmaz, A. Koçyiğit, Ü. İncekara, Ş. Aydoğan, Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode, *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 597 (2020), 412408, <https://doi.org/10.1016/j.physb.2020.412408>
- [4] A. R. Deniz, Z. Çaldıran, L. B. Taşyürek, Electrical characteristics of Al₂O₃/p-Si heterojunction diode and effects of radiation on the electrical properties of this diode, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33 (2022), 26954-26965, <https://doi.org/10.1007/s10854-022-09359-3>
- [5] Z. Çaldıran, L. B. Taşyürek, A. R. Deniz, M. Biber, Design and detailed electrical characterization of MoO₃ supported Au/n-Si junction diodes, *Micro and Nanostructures*, 205 (2025), 208217, <https://doi.org/10.1016/j.micrna.2025.208217>
- [6] F. Hanife, Y. Badali, Optical response of Au/n-Si schottky photodiode with an interface of graphite-Er₂O₃-doped polyvinyl alcohol (PVA) nanocomposite, *Photonics and Nanostructures - Fundamentals and Applications*, 66 (2025), 101446, <https://doi.org/10.1016/j.photonics.2025.101446>
- [7] M. Farbod, R. Taheri, A. Kosarian, High performance photoresponsivity and high frequency of phosphorene/metal heterojunction as Schottky photodiode rectifier, *Applied Materials Today*, 24 (2021), 101092, <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101092>
- [8] G. M. Ali, Performance analysis of planar Schottky photodiode based on nanostructured ZnO thin film grown by three different techniques, *Journal of Alloys and Compounds*, 831 (2020), 154859, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.154859>
- [9] S. Zhao, G. Lioliou, A. M. Barnett, Temperature dependence of commercial 4H-SiC UV Schottky photodiodes for X-ray detection and spectroscopy, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 859 (2017), 76-82, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2017.04.008>
- [10] M. Erdoğan, A. R. Deniz, Z. Çaldıran, Exploring photodiode characteristics of a D- π -D type organic semiconductor incorporating a fluorenyl π -bridge and triphenylamine donors, *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 469 (2025), 116532, <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2025.116532>
- [11] A. Boukezzeta, G. Nezzal, A. Keffous, K. Bourenane, T. Kerdja, M. Kechouane, H. Menari, Effect of thickness and porous structure of SiC layers on the spectral response of the Pd/SiC-pSi Schottky photodiodes, *Optics Communications*, 281 (2008), 2126–2131.
- [12] D. L. Pulfrey, G. Parish, D. Wee, B. D. Nener, Surface-layer damage and responsivity in sputtered-ITO/p-GaN Schottky-barrier photodiodes, *Solid-State Electronics*, 49 (2005), 1969–1973.

SOĞUK İKLİMLERDE SERA ISITMASINDA TOPRAK KAYNAKLI ISI POMPASININ ENERJİ VE EKSERJİ PERFORMANSI

Enes AKÇAY ¹, Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN ²

¹ enes_akcay.61@outlook.com - ORCID: 0000-0001-9665-8787

Kocaeli Üniversitesi Gölcük Meslek Yüksekokulu , arzu.keven@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0040-9167

ÖZET

Sera ısıtması, özellikle kış aylarında tarımsal üretimde en yüksek enerji talebini oluşturan süreçlerin başında gelmektedir. Dış ortam sıcaklığının 0 °C civarında seyrettiği koşullarda ısıtma için harcanan enerji miktarı artmakta, bu durum hem üretim maliyetlerini yükseltmekte hem de çevresel etkileri büyötmektedir. Bu nedenle, soğuk iklim koşullarında dahi yüksek verimle çalışabilen, enerji tüketimini azaltan ve sürdürülebilirlik hedeflerine katkı sağlayan sistemlerin tasarımı büyük önem taşımaktadır. Toprak kaynaklı ısı pompaları, yeraltının yıl boyunca kararlı kalan sıcaklık seviyesinden yararlanarak düşük sıcaklıktaki ısıyı yükseltmekte ve sera ısıtmasında fosil yakıt kullanımına alternatif, çevre dostu bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, toprak kaynaklı ısı pompası kullanılarak R32, R1234yf, R410A ve R454B soğutucu akışkanları ile modellenmiş ve 0 °C çevre sıcaklığı altında performansları karşılaştırılmıştır. Kompresör sıkıştırma oranı (r) temel değişken olarak ele alınmış ve farklı r değerleri için COP, kompresör işi, ekserji verimi ve toplam ekserji kaybı gibi göstergeler değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, R1234yf'in düşük küresel ısınma potansiyeli ve yüksek ekserji verimi ile hem enerji hem de çevresel açıdan en dengeli seçenek olduğunu ortaya koymuştur. R32, güçlü bir ısıtma kapasitesi ve iyi performansı ile öne çıkmakta; R454B orta düzeyde bir verimlilik profili sunmakta; R410A ise en düşük COP ve en yüksek kompresör işi ile sistem üzerinde en fazla yük oluşturan akışkan olarak değerlendirilmiştir. Bu karşılaştırmalar, düşük çevre sıcaklıklarında optimum akışkan ve sıkıştırma oranının seçilmesinin yalnızca enerji tasarrufu açısından değil, aynı zamanda sera ısıtma maliyetlerinin düşürülmesi, karbon emisyonlarının azaltılması ve uzun vadeli sürdürülebilir tarım uygulamalarının desteklenmesi açısından kritik bir rol oynamakta olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı pompası, ekserji, kompresör sıkıştırma oranı

ENERGY AND EXERGY PERFORMANCE OF A GROUND-SOURCE HEAT PUMP FOR GREENHOUSE HEATING IN COLD CLIMATES

Enes AKÇAY ¹, Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN ²

¹ enes_akcay.61@outlook.com - ORCID: 0000-0001-9665-8787

Kocaeli University, Gölcük Vocational School, arzu.keven@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0040-9167

ABSTRACT

Greenhouse heating constitutes one of the highest energy demands in agricultural production, particularly during winter months. Under conditions where the ambient temperature hovers around 0 °C, the energy required for heating increases, which raises production costs and exacerbates environmental impacts. Therefore, the design of systems that can operate efficiently even in cold climates, reduce energy consumption, and contribute to sustainability goals is of great importance. Ground-source heat pumps utilize the relatively stable temperature of the ground throughout the year to upgrade low-temperature heat and provide an environmentally friendly alternative to fossil-fuel-based greenhouse heating. In this study, a ground-source heat pump system was modeled using R32, R1234yf, R410A, and R454B refrigerants, and their performances were compared under an ambient temperature of 0 °C. The compressor pressure ratio (r) was considered as the main variable, and key performance indicators such as COP, compressor work, exergy efficiency, and total exergy destruction were evaluated for different r values. The findings reveal that R1234yf, with its low global warming potential and high exergy efficiency, represents the most balanced option in terms of both energy performance and environmental impact. R32 offers high heating capacity and good overall performance, R454B exhibits a moderate efficiency profile, while R410A yields the lowest COP and the highest compressor power requirement, imposing the greatest load on the system. These results indicate that selecting the optimal refrigerant and pressure ratio at low ambient temperatures plays a critical role not only in energy savings but also in reducing greenhouse heating costs, mitigating carbon emissions, and supporting long-term sustainable agricultural practices.

Keywords: Heat Pump, Exergy, Compressor Pressure Ratio

1. INTRODUCTION

Since the first oil crisis in the early 1970s, during which insufficient oil supply led to a significant rise in energy prices, numerous studies have been conducted on the efficient use of energy [1]. The steadily increasing global population and the growing impacts of climate change have made sustainable food production one of the most pressing issues of our time. It is projected that by the year 2050, the world population will reach 9.7 billion, a growth that will substantially increase pressure on agricultural resources. However, the issue is not solely limited to increasing food supply. Climate change, through unpredictable weather events, the reduction of arable land, and increasing stress on water resources, adds further complexity to the situation. Research shows that approximately 30% of annual fluctuations in crop yields can be attributed to climatic variations. In this context, greenhouse farming emerges as a significant alternative solution. Greenhouses protect crops from extreme weather conditions and pests, enabling year-round production and offering yields 10 to 20 times higher than conventional agriculture. Moreover, greenhouse systems reduce water consumption and lower the need for chemical inputs, thus enabling more efficient use of resources. However, heating and cooling processes in greenhouses heavily rely on fossil fuel consumption, making a considerable contribution to their carbon footprint. Heating is typically provided by boilers powered by natural gas, LPG, diesel, or fuel oil, while cooling is mainly achieved through evaporative fan-pad (EFP) ventilation systems [2]. Greenhouses allow for the healthy cultivation of crops even outside the natural growing season by shielding them from wind, rain, snow, and other adverse environmental factors, leading to higher quality yields. Although they represent a relatively small share of total energy consumption, greenhouses are energy-intensive systems. Therefore, improving energy efficiency in greenhouse operations and reducing greenhouse gas emissions are of critical importance both economically and environmentally. To this end, the integration of renewable energy technologies offers an effective approach to reducing the agricultural sector's dependence on fossil fuels. In particular, solar energy applications provide a sustainable solution for greenhouse heating and meeting energy needs, standing out with their inexhaustible and environmentally friendly characteristics and resulting in low greenhouse gas emissions [3]. Various methods have been developed in the greenhouse sector to reduce energy consumption from fossil fuel sources. These methods include the effective use of environmental potential, implementation of advanced technologies, and closed greenhouse systems capable of recovering up to 80% of energy. Additionally, electricity is generated using solar and wind energy, and environments such as soil, rock, phase change materials (PCM), and water are used for energy storage purposes. For instance, the combined use of a heat pump with ground thermal storage can reduce fossil fuel-based energy demand by approximately 25% [4].

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

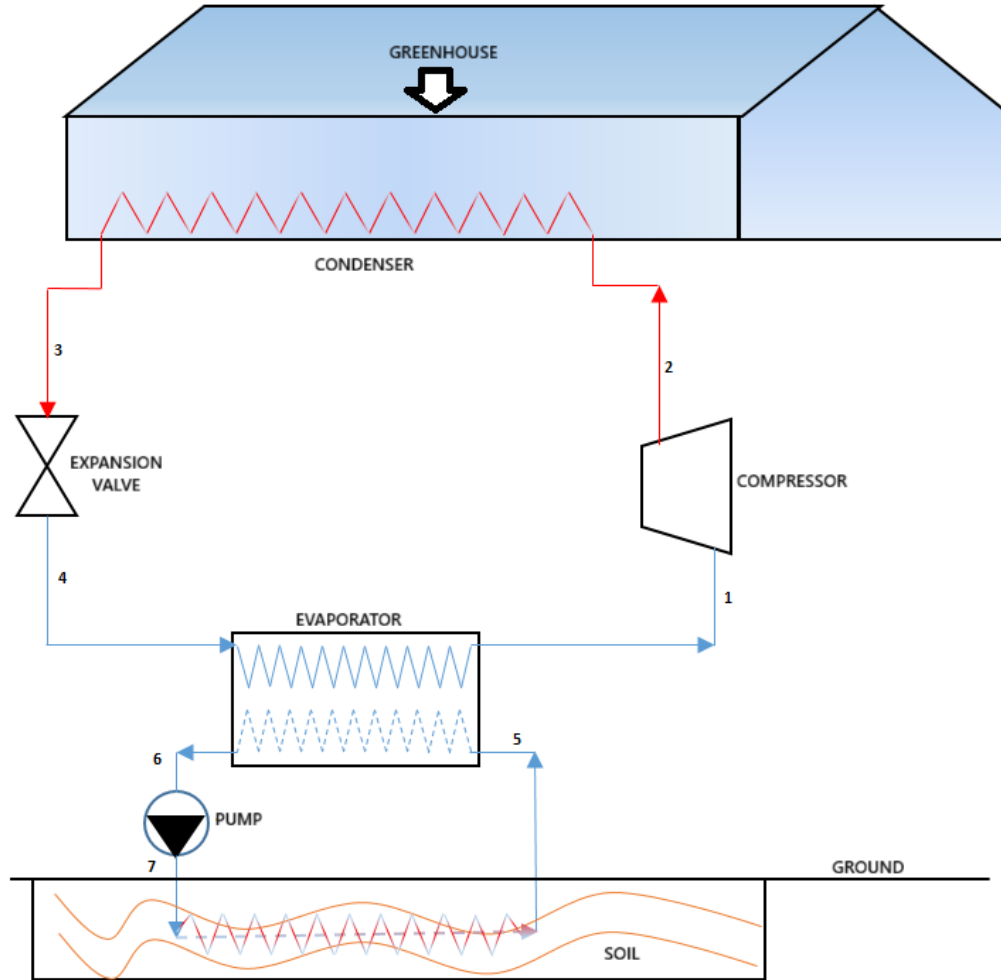


Figure 1. Basic flow diagram of the cycle

As shown in Figure 1, the primary objective of the system is to heat the greenhouse by utilizing the relatively higher temperature potential of the soil under cold ambient conditions. On the heat pump side, the refrigerant evaporates in the evaporator by absorbing low-temperature heat coming from the soil circuit. The vaporized refrigerant is then compressed in the compressor, increasing its temperature, and subsequently transferred to the greenhouse via the condenser. After condensation, the refrigerant passes through the expansion valve, where its pressure is reduced, and then returns to the evaporator to continue the cycle. On the soil side, circulating water absorbs the stored thermal energy of the soil through a ground-embedded heat exchanger. This energy is not transferred directly to the greenhouse but is instead used to support the refrigerant in the evaporator. In this way, the soil serves as a continuous heat source at a more moderate temperature compared to the ambient air, and the heat pump elevates this energy to the higher temperature level required by the greenhouse. Thanks to this operating principle, the greenhouse can be heated in a sustainable and efficient manner even under low external temperature conditions.

3. CONCLUSIONS AND EVALUATION

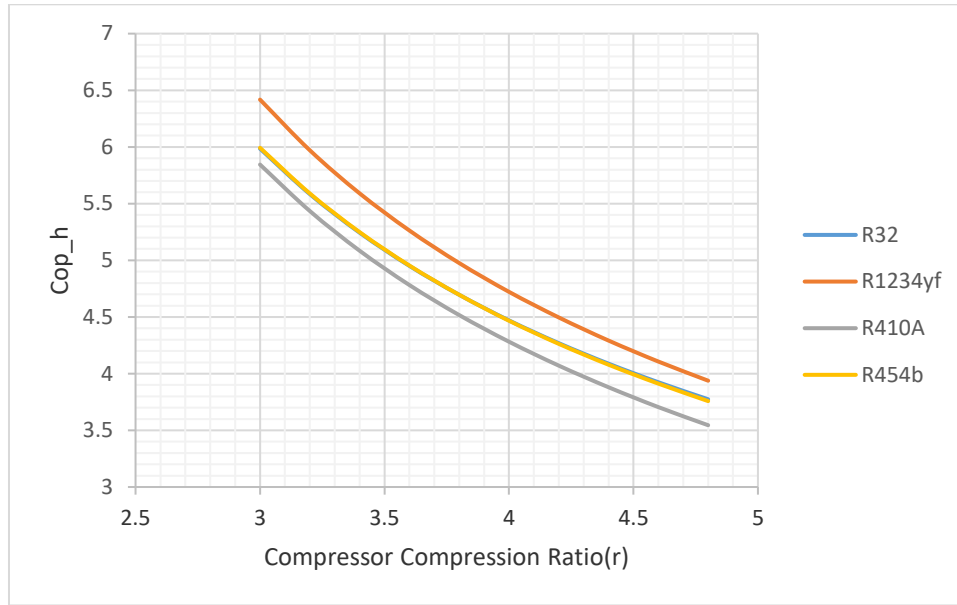


Figure 2. Kompresör sıkıştırma oranının ısıtma COP değerlerine etkisi

As the compressor compression ratio increases, a decrease in the heating COP values is observed for all fluids. The rise in compression ratio leads to an increase in compressor outlet temperature and consequently raises the work performed by the compressor. However, since the amount of heat transferred to the environment via the condenser increases only to a limited extent, the overall energy performance of the system declines. This behavior is attributed to the heat pump approaching its thermodynamic efficiency limit as the temperature lift increases. According to the results obtained, R1234yf yielded the highest COP values, followed by R32, R454B, and R410A, respectively. The low pressure difference and favorable phase change characteristics of R1234yf resulted in lower compressor work and thus higher COP values in the cycle. In contrast, R410A exhibited the lowest performance due to its high pressure difference and elevated compression temperature. R454B, due to its blended composition, achieved higher values than R410A but remained below those of R32.

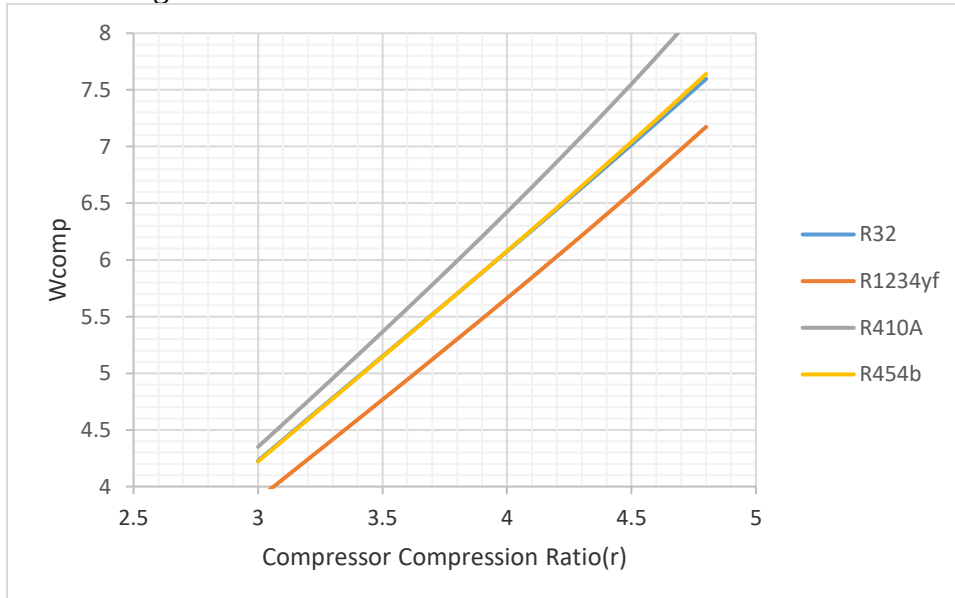


Figure 3. Kompresör sıkıştırma oranının kompresör iş gereksinimine etkisi

With the increase in compressor compression ratio, the compressor work requirement increases linearly for all fluids. The rise in compression ratio causes a larger enthalpy difference during

the compression process, which in turn leads to greater mechanical power consumption. Among the working fluids, R410A exhibits the highest compressor work, while the lowest value is observed for R1234yf. The values for R32 and R454B are close to each other, both requiring less compressor work than R410A but slightly more than R1234yf. The high specific work requirement of R410A results from its operation at higher pressure levels and the steeper slope of its isentropic curve. On the other hand, the lower compression work of R1234yf makes it more advantageous than the other fluids in terms of energy consumption.

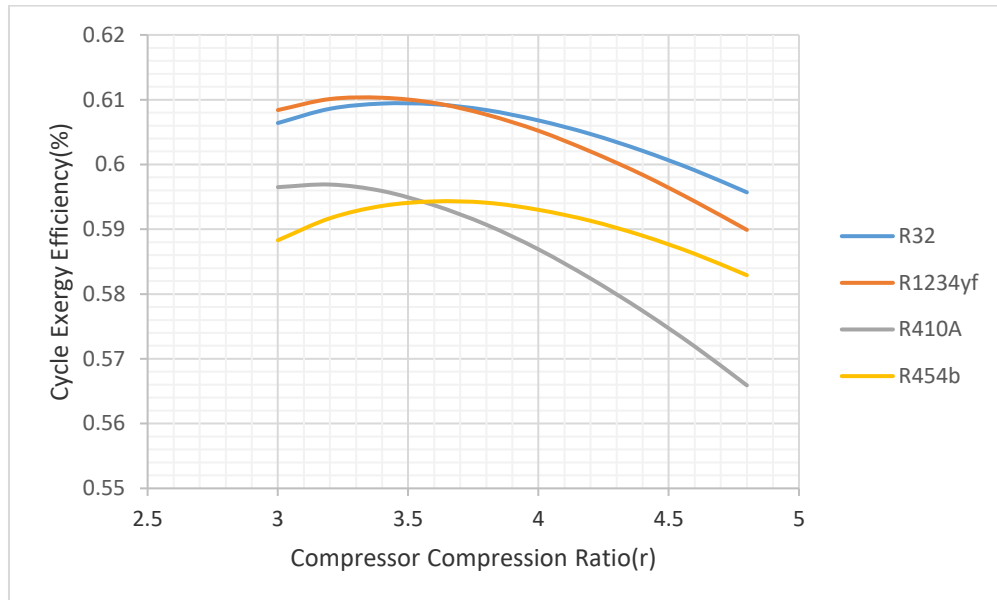


Figure 4. Kompresör sıkıştırma oranının çevrim ekserji verimine etkisi

Cycle exergy efficiency increases from low compression ratios up to a certain point, after which it begins to decline. This behavior is attributed to the fact that, as the compression ratio rises, the temperature on the condenser side increases, thereby raising the exergy value of the heat rejected. However, at higher ratios, compressor irreversibilities, expansion losses, and temperature differences in heat exchangers increase, resulting in greater total exergy destruction. Consequently, the cycle reaches its maximum exergy efficiency at moderate compression ratios. Among the fluids, R1234yf and R32 exhibited similar and highest exergy efficiencies. R454B remained at a moderate level, while R410A showed the lowest exergy efficiency. This outcome is due to the higher levels of irreversibility and greater compressor work associated with R410A.

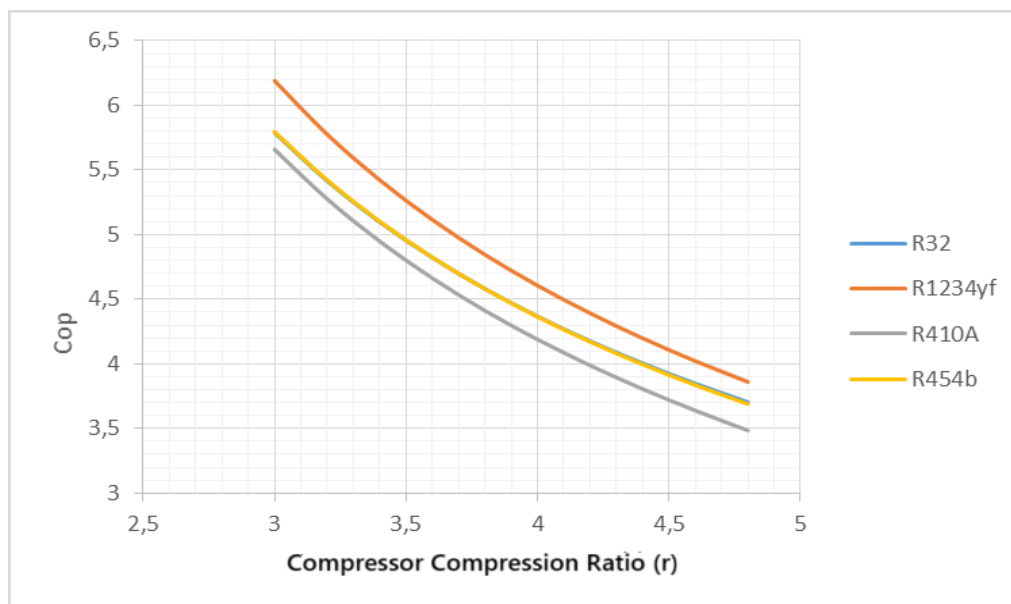


Figure 5. Kompresör sıkıştırma oranının tüm sistem COP değerlerine etkisi

All system COP values exhibit a decreasing trend with increasing compression ratio. This trend is similar to the behavior of the cycle COP, but the system COP is calculated by also taking into account the energy consumption of the pump and other auxiliary components included in the system. At low compression ratios, since the compressor's power requirement is relatively small, the pump power becomes more prominent within the total energy consumption, and thus the system COP reaches lower values compared to the cycle COP. As the compression ratio increases, the compressor power grows, reducing the relative effect of the pump. Among all the fluids, the highest system COP values were obtained for R1234yf. R32 ranked second, R454B showed moderate values, while R410A exhibited the lowest system performance. This result stems from the fact that R1234yf and R32 can deliver the same heating load with lower energy input.

4. GENERAL EVALUATION AND RESULTS

In this study, the energy and exergy-based performances of the refrigerants R32, R1234yf, R410A, and R454B were evaluated under different compression ratios for a ground source heat pump system. The study aimed to identify the optimal refrigerant selection to improve the efficiency of systems used for greenhouse heating at low ambient temperatures. The analysis results show that as the compression ratio increases, the heating COP values decrease and compressor work increases for all fluids. Higher compression ratios lead to greater irreversibilities in the cycle, which results in reduced energy and exergy efficiencies. The findings reveal that R1234yf provides the most balanced performance due to its low pressure difference, high energy efficiency, and low global warming potential. R32 also yielded favorable results, particularly due to its high heating capacity. R454B demonstrated moderate performance, while R410A imposed the greatest load on the system due to its high energy consumption and low efficiency values. The results indicate that in ground source heat pump systems, selecting the appropriate refrigerant and compression ratio is critical for enhancing energy efficiency. The use of suitable fluids not only improves heating performance but also reduces greenhouse heating costs and carbon emissions. In this regard, the study presents an



original contribution to the literature by comprehensively evaluating the thermodynamic performance of various refrigerants under low ambient temperature conditions.

In conclusion, R1234yf and R32 stand out as the most suitable options in terms of energy, exergy, and environmental sustainability. Future studies are recommended to investigate the effects of different soil properties, varying climate conditions, and innovative refrigerant mixtures on system performance through both experimental methods and dynamic modeling approaches.

REFERENCES

- [1] Yu, Tong., Kozai, T., Nishioka, N., Ohyama, Katsumi. (2012). Reductions in Energy Consumption and CO₂ Emissions for Greenhouses Heated with Heat Pumps. *Applied Engineering in Agriculture*. 28. 401-406. Doi: [10.13031/2013.41488](https://doi.org/10.13031/2013.41488)
- [2] Ahsan, Abir, T, M., Hassan, A, A., Thakur, A, K., Ahamed, S, M. (2025). Transitioning from conventional systems to ground source heat pump for climate-smart greenhouse conditioning. *Case Studies in Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106314>
- [3] Nikolic, D., Jovanovic, S., Jurisevic, N., Nikolic, N., Radulovic, J., Radovic, V, M., Grujic, I. (2025). Sustainable Design in Agriculture Energy Optimization of Solar Greenhouses with Renewable Energy Technologies, *Energies* 18(2). <https://doi.org/10.3390/en18020416>
- [4] Harjunowibowo, D., Omer, S. A., & Riffat, S. B. (2021). Experimental investigation of a ground-source heat pump system for greenhouse heating-cooling. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 16(4), 1529-1541.

GEMİ EGZOZ ISISININ SOĞUTMA AMAÇLI YENİDEN KULLANIMI: KARIŞIM AKIŞKANLI ŞAFT BAĞLI RANKINE-SIKIŞTIRMA SİSTEMİNİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Enes AKÇAY ¹, Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN ²

¹ enes_akcay.61@outlook.com - ORCID: 0000-0001-9665-8787

Kocaeli Üniversitesi Gölcük Meslek Yüksekokulu , arzu.keven@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0040-9167

ÖZET

Deniz taşımacılığında egzozla atılan ısının soğutma amaçlı değerlendirilmesine yönelik bu çalışmada, türbin gücünün kompresörü tahrik ettiği şaft bağlı Rankine ve buhar sıkıştırma soğutma mimarisinin termodinamik performansı incelenmiştir. Analizde temel değişken olarak kompresör sıkıştırma oranı ele alınmış; R452B, R449A, R454B ve R448A karışım soğutucu akışkanları sistem davranışı açısından karşılaştırılmıştır. Bu akışkanlar, hem HFC hem de HFO türü bileşenlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş karışımlardır ve çevresel etkileri azaltırken enerji verimliliğini korumayı hedeflemektedir. Sıkıştırma oranı yükseldikçe COP ve toplam ekserji verimi azalmış, tesis ve kondenser düzeyindeki ekserji yıkımları artmıştır. R452B ve R454B karışımları, yüksek verim ve düşük ekserji yıkımıyla öne çıkarken; R449A en yüksek kompresör gücü gereksinimi ve toplam ekserji yıkımıyla sistem üzerinde en fazla yük oluşturan akışkan olmuştur. Gemi atık ısısının ek yakıt gerektirmeden soğutma ihtiyacını karşılayabileceği, sistem tasarımında sıkıştırma oranının gereğinden fazla artırılmaması, kondenser ısı atım koşullarının iyileştirilmesi ve akışkan seçiminde R452B ile R454B karışımlarına yönelmenin daha uygun bir yaklaşım olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: COP, Rankine, Ekserji, Karışım akışkan

REUTILIZATION OF MARINE EXHAUST HEAT FOR COOLING: ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF A SHAFT-DRIVEN RANKINE-COMPRESSION SYSTEM WITH MIXTURE REFRIGERANTS

Enes AKÇAY ¹, Öğr. Gör. Dr. Arzu KEVEN ²

¹ enes_akcay.61@outlook.com - ORCID: 0000-0001-9665-8787

Kocaeli University, Gölcük Vocational School, arzu.keven@kocaeli.edu.tr - ORCID: 0000-0003-0040-9167

ABSTRACT

In this study, the thermodynamic performance of a shaft coupled Rankine and vapor compression refrigeration architecture, in which the turbine power drives the compressor, is investigated for the purpose of utilizing exhaust heat in marine transportation for cooling. The compressor pressure ratio is considered as the main variable, and the performance of the mixture refrigerants R452B, R449A, R454B, and R448A is compared in terms of overall system behavior. These refrigerants are mixtures formulated by combining HFC type and HFO type components in specific proportions, aiming to reduce environmental impact while maintaining energy efficiency. As the compression ratio increases, both COP and total exergy efficiency decrease, whereas exergy destruction at the condenser and plant levels increases. Among the examined mixtures, R452B and R454B exhibited higher efficiencies with lower exergy destruction, while R449A showed the highest compressor power requirement and total exergy destruction, imposing the greatest load on the system. The results indicate that marine exhaust heat can be effectively used to meet cooling demand without additional fuel consumption. From a design perspective, avoiding unnecessarily high compression ratios, improving condenser heat rejection conditions, and focusing on the use of R452B and R454B mixtures represent a more suitable approach for system optimization.

Keywords: COP, Rankine, Exergy, Mixture refrigerant

1. INTRODUCTION

Issues such as the depletion of energy resources, global warming, and environmental pollution are making the efficient use of energy and the reduction of carbon dioxide emissions increasingly important. In this context, waste heat recovery holds significant potential both for enhancing energy efficiency and for reducing fuel consumption. Conventional steam cycles, which are commonly used in industrial facilities, fail to deliver adequate performance in recovering low-temperature waste heat. To address this shortcoming, the Organic Rankine Cycle (ORC) emerges as an effective solution to convert low-grade waste heat into useful energy [1]. Maritime transportation is expanding rapidly and contributes to environmental pollution through exhaust gas emissions. Consequently, environmentally friendly ship designs have become a focal point for researchers and engineers. Waste heat recovery systems stand out as one of the most effective methods for improving the efficiency of primary energy sources such as internal combustion engines, gas turbines, and fuel cells [2]. Although the thermal efficiency of diesel engines used in maritime applications today has reached levels of up to 50%, a significant portion of the energy is still lost as waste heat in liquid or gaseous form. Recovering these losses to enhance energy efficiency has increasingly become a shared objective within the maritime sector. Organic Rankine Cycle (ORC)-based waste heat recovery systems possess significant potential for reducing fuel consumption and lowering carbon emissions [3]. In this regard, one of the innovative technologies that stands out in terms of energy recovery and sustainable cooling applications is the Organic Rankine–Vapor Compression Cycle system. This system fundamentally comprises an integrated structure formed by the combination of two distinct thermodynamic cycles. The first cycle, the organic Rankine cycle, vaporizes an organic working fluid by utilizing low- or medium-temperature waste heat sources. The vaporized fluid is expanded within a turbine in the system to generate mechanical energy. This mechanical energy is then directly used to drive the compressor in the vapor compression refrigeration cycle, which constitutes the core component of the second cycle. In this integrated system, since the process of converting to electrical energy is eliminated, conversion losses are significantly reduced, thereby improving the overall efficiency of the system. The mechanical work produced by the turbine is directly transferred to the compressor shaft without the need for any intermediate energy conversion, thereby creating the necessary pressure difference for the refrigeration cycle and generating the cooling effect [4].

2. EXPERIMENTAL STUDIES (or APPLICATIONS)

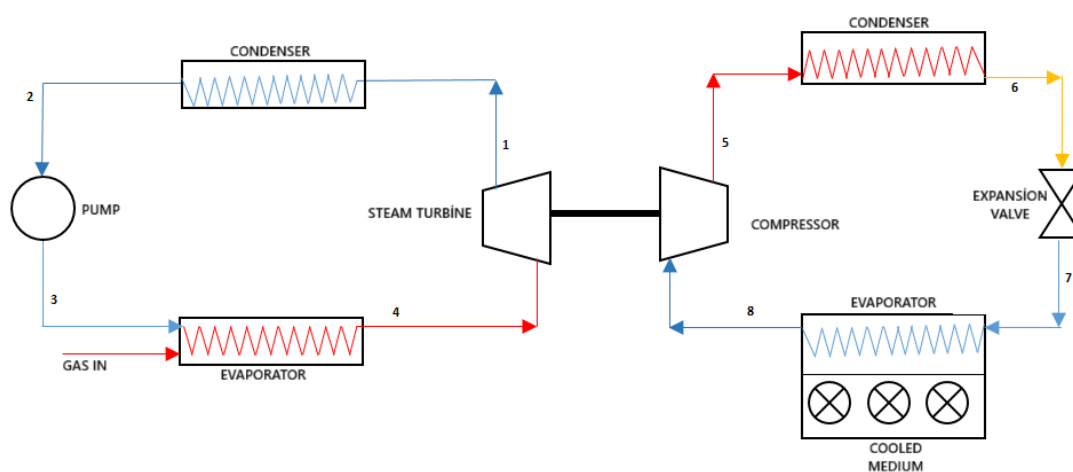


Figure 1. General schematic of the ORC and vapor compression refrigeration cycle.

In the Rankine cycle located on the left side of the figure, the saturated liquid condensed in the condenser is pressurized by a pump and sent to the evaporator. In the evaporator, the working fluid, which transitions from the liquid phase to the vapor phase by absorbing heat from the exhaust gas, reaches the steam turbine as saturated or superheated vapor. During the isentropic expansion in the turbine, the enthalpy of the fluid decreases and mechanical work is generated on the turbine shaft. At the turbine outlet, the vapor with reduced pressure is condensed in the condenser, thus completing the cycle. In the vapor compression refrigeration sub-cycle located on the right side of the figure, the refrigerant in vapor phase exiting the evaporator undergoes isentropic compression in the compressor; the fluid, whose pressure and temperature have increased, releases its heat to the external environment through condensation in the condenser. The liquid exiting the condenser is expanded through an expansion valve, reducing its pressure and forming a two-phase mixture. This mixture absorbs heat from the cooled environment in the evaporator, vaporizes again, and completes the cycle. The turbine and the compressor are mechanically connected via a common shaft; thus, the turbine work obtained from the Rankine cycle is directly used to drive the compressor, enabling the conversion of waste heat into a cooling effect without additional fuel consumption.

Table 1. Components and mass fractions (%) of the mixed refrigerants used in the study

Fluid	Mixture Ratio
R454B	R32 (68.9%), R1234yf (31.1%)
R452B	R32 (67%), R125 (7%), R1234yf (26%)
R449A	R32 (24.3%), R125 (24.7%), R1234yf (25.3%), R134a (25.7%)
R448A	R32 (26%), R125 (26%), R134a (21%), R1234yf (20%), R1234ze (7%)

Table 1 presents the components and mass fractions of the mixed refrigerants used in the analyses. These fluids are environmentally more sustainable alternatives, obtained by blending various HFC (hydrofluorocarbon) and HFO (hydrofluoroolefin) components in specific proportions. Among the HFC group components, R32, R125, and R134a stand out with their high thermal conductivity, pressure resistance, and thermodynamic stability. In contrast, the HFO components R1234yf and R1234ze are preferred in next-generation systems due to their low global warming potentials (GWP), thereby reducing environmental impact (Lemmon, 2003; Calm, Hourahan, 2011). R452B (Opteon XL55) is a mixture composed of 67% R32, 7% R125, and 26% R1234yf, developed as a low-GWP alternative to R410A (AGATEX, 2020). R454B, with a binary composition of 68.9% R32 and 31.1% R1234yf, is likewise proposed as a replacement for R410A (Chemours, 2019). These two fluids stand out with their compositions that balance high thermal performance and low environmental impact. R449A is a quaternary mixture consisting of 24.3% R32, 24.7% R125, 25.3% R1234yf, and 25.7% R134a. Due to its wide operating temperature range and favorable heat transfer characteristics, it is widely used as an alternative in refrigeration systems (Kaltra, 2021). R448A, on the other hand, is a five-component mixture comprising 26% R32, 26% R125, 21% R134a, 20% R1234yf, and 7% R1234ze. Developed as a replacement for R404A due to its low GWP value, it demonstrates thermodynamically balanced behavior (Honeywell, 2020).

CONCLUSIONS AND EVALUATION

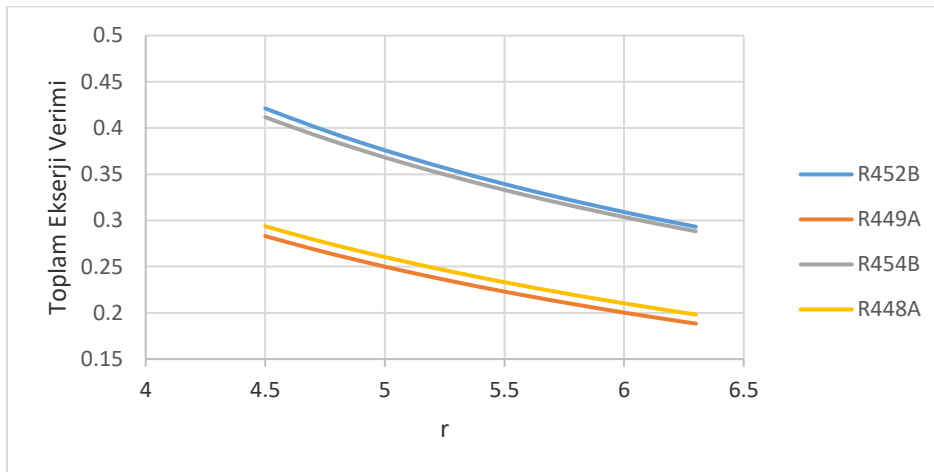


Figure 2. The relationship between total exergy efficiency and compressor compression ratio

Figure 2 reveals the inverse relationship between the compressor compression ratio and total exergy efficiency. As the compression ratio increases, the compressor's work requirement rises, and irreversibilities occurring in the heat exchangers intensify. This leads to an expansion in the logarithmic mean temperature difference, particularly on the condenser and evaporator sides, thereby increasing the total exergy destruction throughout the cycle. Consequently, the second-law efficiency of the system namely, the performance indicator based on exergy declines. The fluids R452B and R454B maintained high efficiency levels due to their lower exergy destruction, whereas R449A exhibited the most significant decrease in exergy efficiency, especially at high compression ratios. This trend aligns with studies in the literature reporting that mixture based refrigerants are subjected to greater irreversibilities under high pressure differences.

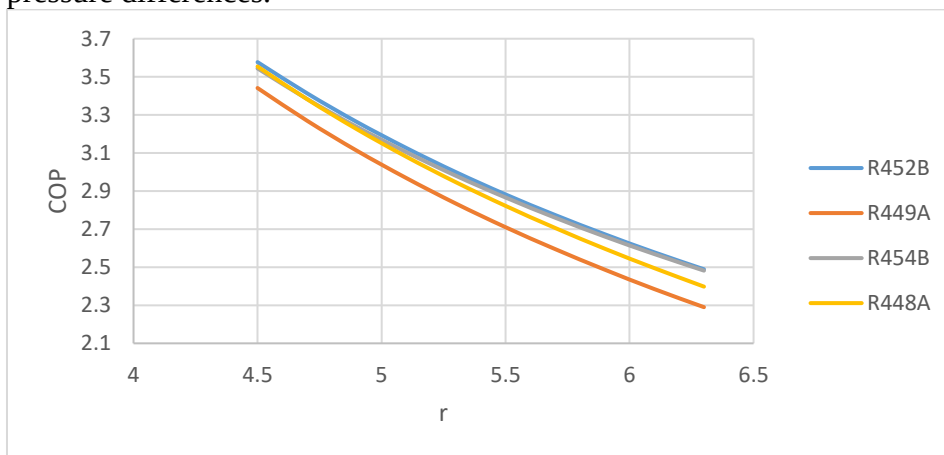


Figure 3. The effect of compressor compression ratio on COP

As shown in Figure 3, the COP value of the cycle steadily decreases as the compression ratio increases. While the rising pressure ratio increases the power consumed by the compressor, it does not proportionally raise the amount of heat extracted from the cooled environment by the evaporator. As a result, the energy efficiency of the system weakens. At low compression ratios, the shaft power transferred from the Rankine cycle to the compressor is utilized more effectively, which helps maintain a higher COP value. The COP performances of R452B and R454B fluids were found to be higher compared to other fluids, due to their delayed loss of

thermodynamic equilibrium points. On the other hand, R449A was identified as the most sensitive fluid to increasing pressure ratio, exhibiting a rapid decline in COP. The findings are in direct agreement with the trend noted in the literature regarding the "efficiency reducing effect of over compression."

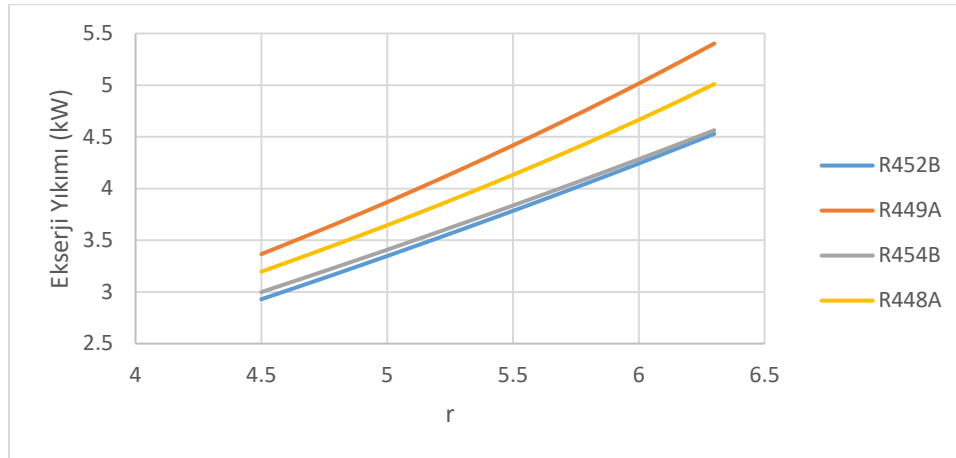


Figure 4. The effect of compressor compression ratio on the total exergy destruction of the plant

Figure 4 clearly shows that as the compression ratio increases, the total exergy destruction occurring throughout the plant also rises significantly. The primary reason for this increase is the growing deviation from isentropic behavior in both the compressor and turbine processes due to the larger pressure difference. Moreover, the widening temperature differences in the condenser and evaporator intensify irreversibilities by causing greater entropy generation during heat transfer. Among all the refrigerants, R449A resulted in the highest exergy destruction at all compression ratios, which suggests that its high viscosity and differences in thermal conductivity negatively affect its second-law performance. In contrast, the lower exergy destruction values observed for R452B and R454B confirm the stable thermal behavior of these fluids. These results indicate that in system design, the selection of pressure ratio should be based not only on COP but also on the criterion of total exergy destruction.

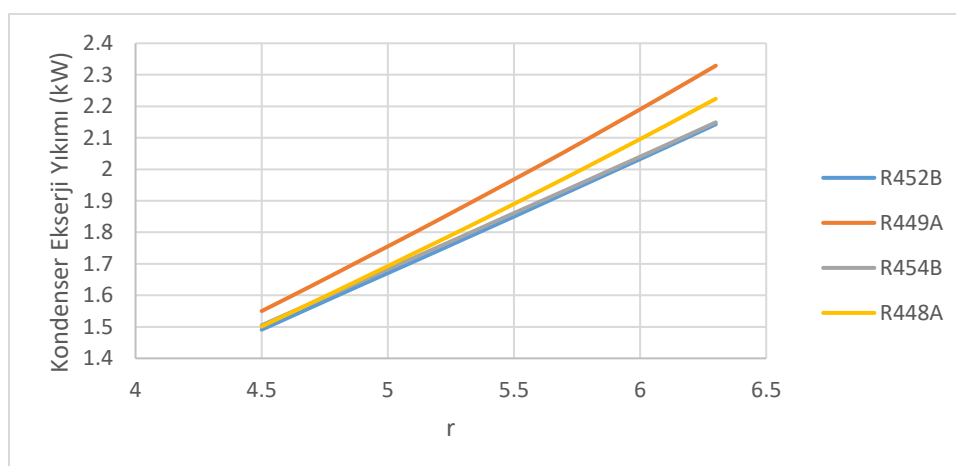


Figure 5. The effect of compressor compression ratio on exergy destruction in the Rankine condenser

Figure 5 shows that exergy destruction occurring in the condenser component of the Rankine cycle increases in parallel with the compression ratio. The elevated exergy level of the steam at the turbine outlet leads to a greater temperature difference within the condenser, which in turn

causes higher entropy generation during heat transfer. R449A causes the highest exergy destruction in the condenser, while R452B and R454B operate with lower irreversibilities. This indicates that limiting thermal transfer differences in condenser design directly contributes to the second-law efficiency of the system. Additionally, the results support findings in the literature that maintaining condenser temperature close to ambient conditions enhances exergetic performance.

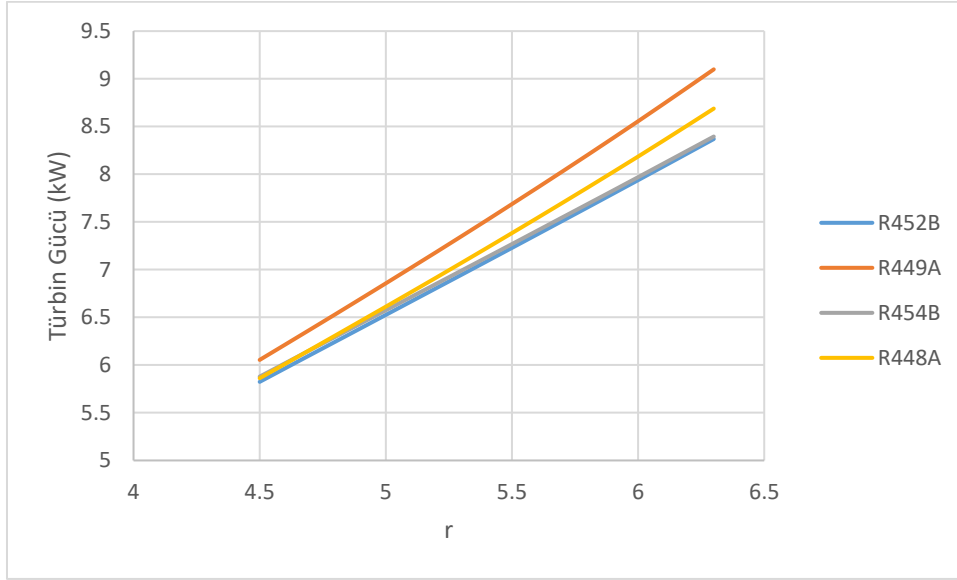


Figure 6. The effect of compressor compression ratio on turbine power

Figure 6 shows that as the compression ratio increases, the turbine shaft power also rises. The increase in pressure ratio leads to a higher evaporation pressure and turbine inlet temperature within the Rankine cycle, resulting in greater mechanical work output at the turbine outlet. However, this increase in turbine power does not independently improve the overall system performance, as the compressor's work requirement simultaneously increases significantly. Although the R449A refrigerant produces high turbine power, it exhibits lower values in terms of COP and exergy efficiency. This indicates that an increase in energy output does not always translate into exergetic benefit, highlighting the need to consider the energy exergy balance together in the design process.

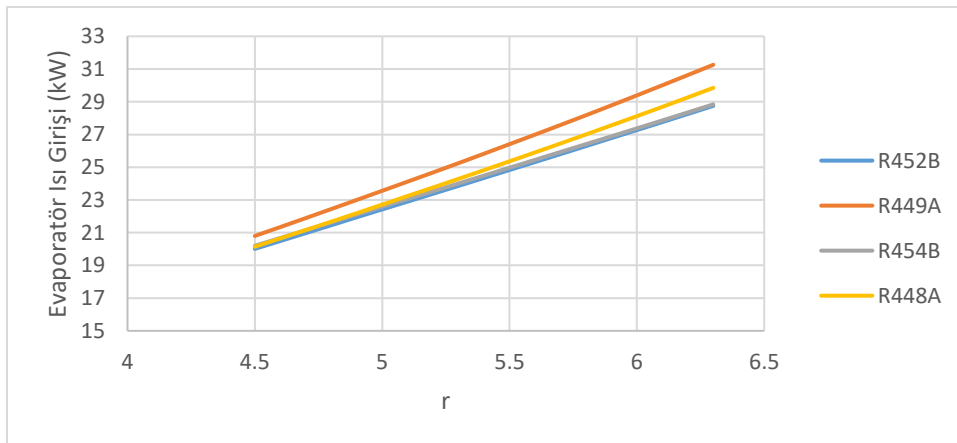


Figure 7. Variation of heat input to the Rankine evaporator with respect to compression ratio

Figure 7 shows that as the compressor compression ratio increases, the amount of heat absorbed in the evaporator of the Rankine cycle also increases. This increase can be explained by the rise in cycle pressures, the resulting enlargement of the logarithmic mean temperature difference, and changes in the evaporation enthalpy of the working fluid. However, this rise in heat input does not proportionally enhance the overall system efficiency. As the pressure difference increases, irreversibilities in both the compressor and turbine also intensify, meaning that the energy gain does not fully translate into exergy improvement. This finding is consistent with studies on modern Rankine systems, which emphasize the necessity of determining an optimal pressure level in waste heat recovery applications.

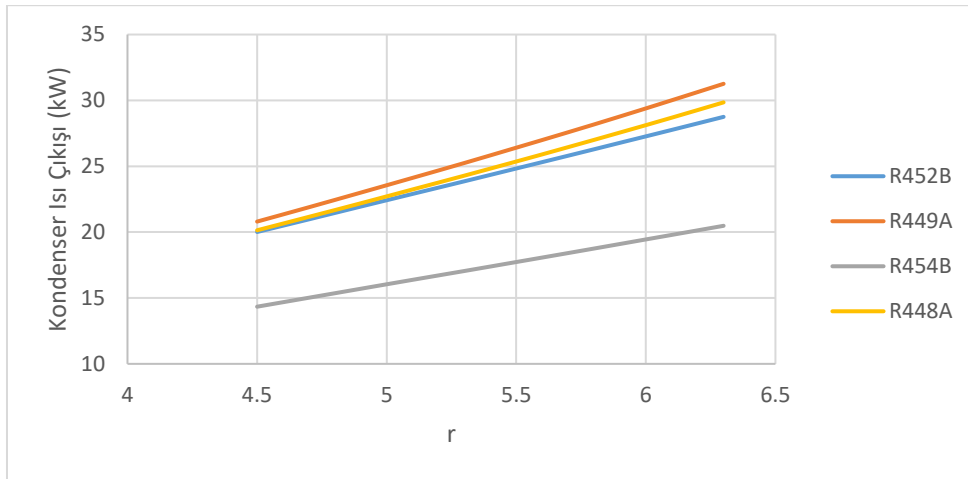


Figure 8. Variation of heat rejected from the Rankine condenser depending on compression ratio

Figure 8 shows that the amount of heat rejected to the environment from the condenser increases with rising compression ratio. The increase in pressure ratio leads to a higher condensation load at the turbine outlet, thereby raising the amount of heat transferred through the condenser. However, this increase also implies a greater exergy loss transferred from the system to the environment. Among the refrigerants, R449A released the highest amount of heat in the condenser, whereas R454B exhibited the most balanced behavior in this regard. The results indicate that optimizing the thermal load of the condenser is important not only for energy efficiency but also in terms of environmental impact and exergy loss.

GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

In this study, a shaft coupled Rankine vapor compression refrigeration system, designed to utilize ship exhaust waste heat for cooling production, was thermodynamically analyzed. The system design was based on a mechanical coupling in which the power obtained from the turbine shaft is directly used to drive the compressor, and the compressor compression ratio was evaluated as the main variable in the analysis. The performances of the mixed working fluids R452B, R449A, R454B, and R448A used in the cycle were compared in terms of energy and exergy criteria.

The results show that the compressor compression ratio is one of the most influential parameters determining system behavior. As the ratio increases, the power consumed by the compressor also increases, while the amount of heat extracted from the evaporator does not rise proportionally, thereby reducing both the COP value and the total exergy efficiency. The

increase in pressure difference especially enlarges the logarithmic mean temperature differences in the condenser and evaporator regions, intensifying irreversibilities and limiting the second law efficiency. This trend reveals that high pressure ratios in integrated Rankine refrigeration systems increase exergy destruction.

Exergy analyses showed that the highest destruction occurred in the compressor and condenser components. Although turbine power increases with compression ratio, no significant increase in net mechanical work is achieved due to the more rapid rise in compressor power demand. Similarly, while the amount of heat absorbed in the evaporator increases, this is not sufficient to improve overall system efficiency. This result demonstrates that energy based gains do not always lead to direct exergy benefits.

The comparative analysis of mixed fluids showed that R452B and R454B yielded the most balanced results in terms of overall energy and exergy performance. These two fluids were positioned in the optimal performance region due to their low irreversibility tendencies, high COP values, and stable pressure temperature characteristics. R449A exhibited the lowest efficiency and highest exergy destruction at high pressure ratios, while R448A, despite generating high turbine power, showed limited improvement in total exergy efficiency. The findings indicate that the component ratios of mixed fluids directly affect the thermal balance within the cycle, and that working fluid selection is a critical design parameter for optimal performance.

In general, the use of ship exhaust waste heat in such shaft coupled Rankine refrigeration systems has shown that onboard cooling demands can be met without additional fuel input. However, operating the system at an optimal compression ratio, improving condenser heat rejection conditions, and careful selection of mixed fluids play a decisive role in overall cycle efficiency.

This study presents a novel thermodynamic approach for the sustainable utilization of waste heat in maritime transportation and provides a strong foundation for future experimental and numerical research focused on design optimization based on the performance characteristics of mixed refrigerants.



REFERENCES

- [1] Yang, M., Yeh, R. (2014). Analyzing the optimization of an organic Rankine cycle system for recovering waste heat from a large marine engine containing a cooling water system. *Energy Conversion and Management*. Volume 88, December 2014, Pages 999-1010.
- [2] Chaboki, Y. A., Khoshgard, A., Salehi, G., & Fazelpour, F. (2021). Energy, exergy, and environmental analysis of meeting cooling demand of a ship with waste heat recovery. *Energy efficiency*, 14(2), 16.
- [3] Chen, W., Xue, S., Lyu, L., Luo, W., & Yu, W. (2023). Energy Saving Analysis of a Marine Main Engine during the Whole Voyage Utilizing an Organic Rankine Cycle System to Recover Waste Heat. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(1), 103. <https://doi.org/10.3390/jmse11010103>
- [4] Grauberger, A., Young, D., Bandhauer, T. (2022). Off-design performance of an organic Rankine-vapor compression cooling cycle using R1234ze(E), *Applied Energy*, Volume 321, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119421>
- [5] AGATEX. (2020). *R452B Technical Data Sheet*. AGATEX GmbH. Retrieved from <https://www.agatex.at>
- [6] Calm, J. M., Hourahan, G. C. (2011). *Refrigerant data update*. *HPAC Engineering*, 83(1), 22–35.
- [7] Chemours. (2019). *Opteon XL41 (R-454B) refrigerant information*. The Chemours Company. Retrieved from <https://www.chemours.com>
- [8] Honeywell. (2020). *Solstice N40 (R-448A) refrigerant overview*. Honeywell International Inc. Retrieved from <https://www.honeywell-refrigerants.com>
- [9] Kaltra. (2021). *R449A refrigerant composition and application data*. Kaltra GmbH. Retrieved from <https://www.kaltra.com>
- [10] Lemmon, E. W. (2003). Pseudo-pure fluid equations of state for the refrigerant blends R-410A, R-404A, R-507A, and R-407C. *International Journal of Thermophysics*, 24(4), 991–1006. <https://doi.org/10.1023/A:1025034432139>

BAZALT TAŞI KESİM ATIĞI VE SİLİS DUMANI ESASLI GEOPOLİMER HARÇLARDA KİREÇ İLAVESİNİN ERKEN YAŞ DAYANIM GELİŞİMİNE ETKİSİ

Doç. Dr. Serhat ÇELİKTEN

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, scelikten@nevsehir.edu.tr -

<https://orcid.org/0000-0001-8154-7590>

ÖZET

Bu çalışmada, silis dumanı, bazalt taşı kesim atığı ve kireç kullanılarak farklı bileşimlerde jeopolimer harçlar üretilmiştir. Karışım tasarımlarında, toplam bağlayıcı miktarına göre bazalt taşı kesim atığı oranı %15, %30 ve %45 olacak şekilde üç seri oluşturulmuştur. Her seri, ayrıca kireç içermeyen (K0) ve %10 oranında kireç ilaveli (K10) olmak üzere iki alt gruba ayrılmıştır; kireç, öncü malzemeler olan silis dumanı ve bazalt taşı kesim atığı ağırlıklarının toplamının yaklaşık %10'u olacak şekilde eklenmiştir. Alkali aktivatör sistemi sodyum hidroksit ve sodyum silikat çözeltilerinden hazırlanmış, bazalt kumu ince agrega olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda, bazalt atığı ve kireç ilavesinin jeopolimer harçların 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karışımların üretiminde herhangi bir ısıl kür uygulanmamış, böylece ek enerji sarfıyatı olmaksızın oda koşullarında dayanım gelişimi sağlanmıştır. Isıl kür uygulanmaksızın, %30 oranında bazalt taşı kesim atığı ve %70 oranında silis dumanı içeren karışım ile 28 günlük kür sonunda 78,5 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Karışıma kireç ilavesi, jeopolimerizasyonun erken evrelerinde dayanım gelişimini desteklemiş; ancak, 28 günlük eğilme ve basınç dayanımında düşüşe neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bazalt taşı kesim atığı, Silis dumanı, Kireç, Geopolimer harç

EFFECT OF LIME ADDITION ON EARLY-AGE STRENGTH DEVELOPMENT OF GEOPOLYMER MORTARS BASED ON BASALT STONE CUTTING WASTE AND SILICA FUME

ABSTRACT

In this study, geopolymer mortars with various compositions were produced using silica fume, basalt cutting waste, and lime. In the mixture designs, three series were prepared in which the proportion of basalt cutting waste was set at 15%, 30%, and 45% of the total binder content. Each series was further divided into two subgroups: one without lime (K0) and one with 10% lime addition (K10). The lime was added at approximately 10% of the total weight of the precursor materials — silica fume and basalt cutting waste. The alkaline activator system was prepared using sodium hydroxide and sodium silicate solutions, and basalt sand was used as the fine aggregate. Within this scope, the effects of basalt waste and lime addition on the 7- and 28-day flexural and compressive strengths of the geopolymer mortars were investigated. No thermal curing was applied during the production of the mixtures, allowing strength development to occur under ambient conditions without additional energy consumption. Without the application of thermal curing, a mixture containing 30% basalt stone cutting waste and 70% silica fume achieved a compressive strength of 78.5 MPa after 28 days of curing. The addition of lime supported strength development during the early stages of geopolymerization; however, it led to a reduction in both flexural and compressive strength at 28 days.

Keywords: Basalt cutting waste, Silica fume, Lime, Geopolymer mortar

1. GİRİŞ

Silis dumanı yüzey alanının fazla olması ve genellikle %85 ve daha yüksek oranda amorf SiO_2 içermesi nedeniyle çimento üretiminde puzolan olarak kullanılmaktadır [1]. Bu kullanım amacına ek olarak çimentoya göre daha ekonomik olduğu birçok çalışmada tespit edilen geopolimer bağlayıcı üretiminde de kullanım potansiyeli taşımaktadır. Ancak, geopolimerlerde amaçlanan mekanik performansı elde etmek için kullanılan puzolanik malzemelerin amorf SiO_2 kaynağına ek olarak Al_2O_3 veya CaO de içermesi gerekmektedir [2]. Silis dumanında bu oksitler az olduğundan ve çok ince taneli olması nedeniyle tek başına geopolimer üretiminde kullanımı kısıtlanmaktadır. Ayrıca, kaynakların ve atıkların dengeli bertaraf edilmesi de önemlidir. Bu nedenle, silis dumanı ile birlikte kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri uygun başkaca bir kaynak ile geopolimer üretimi hem mekanik performansı elde etme hem de kaynakların dengeli kullanımı bakımından değerlidir.

Bazalt taşı kesim atığı, bazalt taşının blok veya plaka haline getirilmesi sırasında ortaya çıkan ince toz, çamur veya parçacık formundaki artık malzemeleri ifade eder. Bu atıklar genellikle mermer ve taş işleme tesislerinde oluşur ve önemli miktarlarda çevreye atılmaktadır. Atık depolama alanlarında birikimi, tozuma ve yeraltı sularının kirlenmesi gibi çevresel sorunlara yol açar. Bu nedenle, yeniden kullanım veya geri kazanım yollarının geliştirilmesi sürdürülebilir üretim açısından kritik öneme sahiptir [3]. Bazalt taşı kesim atığı, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO gibi oksitler açısından zengindir. Mikron mertebesinde çok ince partiküller (çoğunlukla $<75 \mu\text{m}$). Bu fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle de geopolimer üretimi ile geri dönüşüm potansiyeli taşımaktadır [4].

Bu çalışma kapsamında, jeopolimer üretiminde silis dumanı, bazalt taşı kesim atığı ve kireç birlikte değerlendirilmiştir. Silis dumanı, yüksek oranda amorf silika içeriğiyle sistemdeki Si/Al oranını artırarak bağlayıcı jellerin yoğunlaşmasına katkı sağlamaktadır. Bazalt taşı kesim atığı, Al , Fe ve Ca açısından zengin yapısıyla ek bir aluminosilikat kaynağı sunarken, aynı zamanda taş işleme endüstrisinde çevresel yük oluşturan bir atığın geri kazanımına olanak tanımaktadır. Kireç ilavesi ise, ortamın bazikliğini yükselterek silika ve alüminanın çözünürlüğünü hızlandırmakta, erken yaşta C-A-S-H fazlarının gelişimini teşvik etmektedir. Böylece, bu üçlü sistem hem N-A-S-H hem de C-A-S-H tipi jellerin birlikte olduğu hibrit bir jeopolimer matrisi meydana getirerek, erken yaş dayanımını artıran ve yüksek sıcaklıklara karşı kararlılığı geliştiren bir yapı sunmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada kullanılan silis dumanı, Antalya'daki bir elektrometalurji tesisinden; bazalt taşı kesim atığı ise Nevşehir ilinde bulunan taş işleme atölyelerinden temin edilmiştir. Aktivatör çözeltisi, saflığı %97 olan sodyum hidroksit (NaOH) ve bileşiminin %65'i su içeren, modülü 2 olan sodyum silikattan (Na_2SiO_3) hazırlanmıştır. Bu çalışmada, alkali aktivatör sistemi olarak kullanılan $\text{NaOH}/\text{Na}_2\text{SiO}_3$ oranı 0,4 ve su/bağlayıcı oranı 0,35 olarak belirlenmiştir. Böylece karışımın işlenebilirliği ile reaksiyon kinetiği arasında dengeli bir yapı elde edilmiştir. Ayrıca, sistemdeki toplam sodyum (Na) içeriği, öncü malzemeler olan silis dumanı ve bazalt taşı kesim atığı miktarının yaklaşık %10'una karşılık gelecek şekilde ayarlanmıştır. Bu oran, hem yeterli aktivasyon derecesinin sağlanması hem de aşırı alkali

konsantrasyonuna bağlı olumsuz etkilerin (örneğin, erken yüzey çatlaması veya efloresans oluşumu) önlenmesi amacıyla tercih edilmiştir. Harç karışımlarında 3 gözlü 4x4x16 cm harç kalıpları için kullanılan malzeme miktarları Çizelge 1 de sunulmuştur.

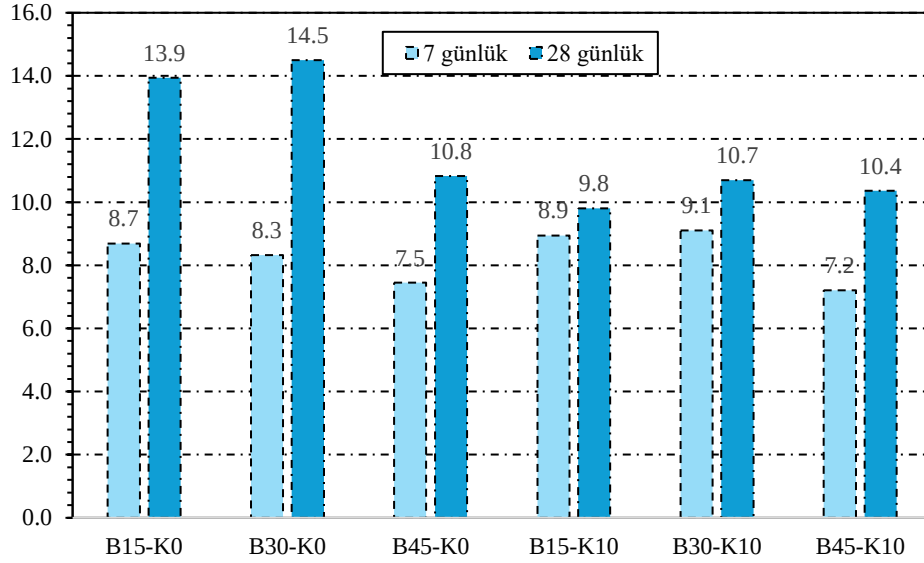
Çizelge 1. Harç karışımlarında kullanılan malzeme ağırlıkları (g)

Karışım Kodu	Silis Dumanı	Bazalt taşı kesim atığı	Sodyum Hidroksit	Sodyum Silikat	Bazalt kumu	Akışkanlaştırıcı	Kireç
B15-K0	382,5	67,5	36	248	1250	30	0
B30-K0	315	135	36	248	1250	30	0
B45-K0	247,5	203	36	248	1250	30	0
B15-K10	382,5	67,5	36	248	1205	30	45
B30-K10	315	135	36	248	1205	30	45
B45-K10	247,5	203	36	248	1205	30	45

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Harçların 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları Görsel 1’de sunulmuştur. 7. günde, bazalt ikame oranının artması eğilme dayanımında sınırlı bir azalma eğilimi göstermektedir; örneğin B15-K0 için 7 günlük değer 8,7 MPa iken B30-K0 8,3 MPa ve B45-K0 7,5 MPa olarak ölçülmüştür. 28. günde ise orta düzey ikame (B30-K0) B15-K0 ile benzer veya hafif daha yüksek düzeyde kalabilmesine rağmen (B15-K0 $\approx$ 13,9 MPa, B30-K0 $\approx$ 14,5 MPa), yüksek ikame (B45-K0) ile eğilme dayanımı belirgin olarak düşüş göstermektedir ($\approx$ 10,8 MPa). Bu durum, eğilme performansında yüksek oranlı bazalt ikamesinin uzun vadede olumsuz etkisinin belirgin olduğunu göstermektedir.

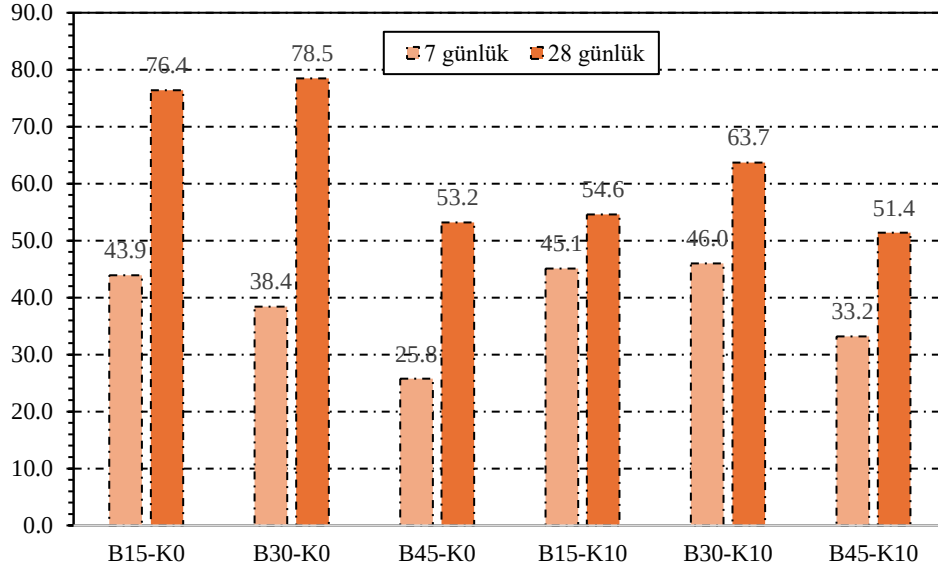
7. günde karışımda kireç ilavesi çoğunlukla eğilme dayanımını kısmen artırmıştır; örneğin B30 serisinde 7 günlük değer kireç ilavesiyle 8,3 MPa’dan 9,1 MPa’ye yükselmiştir. Ancak 28. günde, kireç ilavesinin eğilme dayanımına etkisi olumsuzdur. Dolayısıyla kireç, erken dönemde olumlu etki sağlasa da 28 günlük gelişiminde muhtemelen erken geopolimerizasyonun olumsuz etkisi nedeniyle kür yaşına bağlı dayanım artışını kısıtlamıştır.



Görsel 1. Harçların eğilme dayanımları

Harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları Görsel 2’de sunulmuştur. Bulgular 7. günde, bazalt ikame oranı arttıkça basınç dayanımında belirgin bir azalma eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır; örneğin B15-K0’da $\sim 43,9$ MPa olarak belirlenen 7 günlük dayanım, B45-K0’da $\sim 25,8$ MPa’ye düşmektedir. 28. günde ise %30 bazalt içeren B30-K0 serisi, B15-K0 ile benzer veya bir miktar daha yüksek nihai dayanım göstermiştir (B15-K0 $\approx 76,4$ MPa; B30-K0 $\approx 78,5$ MPa). Buna karşılık %45 bazalt ikamesi (B45-K0) hem 7 hem de 28. günde belirgin biçimde düşük değerler vermiştir (28. gün $\approx 53,2$ MPa). Bu bulgular, %30’a kadar olan bazalt ikamelerinin nihai basınç performansını koruyabildiğini, ancak %45 gibi yüksek ikame oranlarının mekanik dayanımı olumsuz etkilediğini göstermektedir.

7. günde, karışımda kireç ilavesi tüm bazalt düzeylerinde basınç dayanımında belirgin bir artış sağlamıştır; örneğin B30 serisinde 7 günlük dayanım yaklaşık 38,4 MPa’dan 46,0 MPa’ye yükselmiştir; B45 serisinde de erken dönemde anlamlı artış gözlenmiştir. Ancak 28. günde kireç ilavesinin etkisi karışım bileşimine bağlı olarak değişmiştir: %15 ve %30 bazalt içeren karışımlarda kireç ilavesi genellikle 28 günlük basıncı azaltırken, %45 bazalt içeriğinde 28 günlük azalma daha sınırlı kalmıştır. Bu sonuçlar, kireç katkısının erken dönemde dayanım kazanımını hızlandırdığı; ancak uzun dönemdeki etkisinin karışım bileşimiyle yakından ilişkili olduğu ve kireç dozunun bazalt ikame oranıyla birlikte optimize edilmesi gerektiği sonucunu desteklemektedir.



Görsel 2. Harçların basınç dayanımları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

- 7 günde artan bazalt ikamesi dayanım değerlerini düşürürken; 28 günde %30 ikame nihai performansı korumuş, %45 ikame ise belirgin şekilde olumsuz etkilemiştir.
- Kireç yüksek hidrasyon ısısı nedeniyle özellikle 7 günde belirgin dayanım artışı sağlamış; 28 günde ise etkisi karışım içerisine bağımlı olup çoğu durumda olumsuz etkiye neden olmuştur.
- Mekanik performans ve atık değerlendirmesi dengesi için yaklaşık %30 bazalt ikamesi önerilebilir; kireç ise kontrollü ve sınırlı dozda erken yaş dayanım gelişimi için kullanılabilir.
- %70 silis dumanı ve %30 bazalt taşı kesim atığı kullanımıyla atıkların geri kazanımı sağlanmakta; karışımların oda koşullarında kürlenebilmesi ise ek enerji gereksinimini ortadan kaldırarak tasarruf sağlamaktadır. Silis dumanı da bir endüstriyel atık olmakla beraber, farklı atıkların dengeli kombinasyonu hem çevresel fayda hem de kabul edilebilir mekanik performans elde edilmesine olanak tanır.
- Kireç, bazalt taşı kesim atığının özellikle erken yaş (7 günlük) dayanımı düşürmesi nedeniyle, bu olumsuz etkinin dengelenmesi amacıyla silis dumanı ve bazalt taşı kesim atığı esaslı geopolimer sistemlerde potansiyel bir katkı malzemesi olarak değerlendirilebilir. Ancak, 28 günlük dayanım değerleri üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaması için kireç oranının dikkatle optimize edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, daha geniş kapsamlı karışım varyasyonlarını içeren çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Ahmad, S., Al-Amoudi, O. S. B., Khan, S. M., & Maslehuddin, M. (2022). Effect of silica fume inclusion on the strength, shrinkage and durability characteristics of natural pozzolan-based cement concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01255.

- [2] Bajpai, R., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S., & Singh, M. (2020). Environmental impact assessment of fly ash and silica fume based geopolymer concrete. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120147.
- [3] Çelikten, S., & Atabey, İ. İ. (2021). Su içeriği ve ısıtılma süresinin atık bazalt tozu esaslı geopolimer harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(1), 328-332.
- [4] Yurt, Ü., Çelikten, S., & Atabey, İ. İ. (2024). Post-fire residual mechanical and microstructural properties of waste basalt and glass powder-based geopolymer mortars. *Journal of Building Engineering*, 94, 109941.

İNCE ÖĞÜTÜLMÜŞ POMZA ESASLI GEOPOLİMER KARIŞIMLARDA AKTİVATÖR İLAVE SIRASININ ERKEN YAŞ DAYANIM VE İŞLENEBİLİRLİK ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Doç. Dr. Serhat ÇELİKTEN

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, scelikten@nevsehir.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0001-8154-7590>

ÖZET

Bu çalışmada, farklı üretim yöntemleri ve aktivatör türlerinin pomza esaslı geopolimer harçların taze ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerde Nevşehir menşeli, 45 µm altına öğütülmüş pomza kullanılmış ve sodyum hidroksit (NaOH) ile sodyum silikat (Na_2SiO_3) olmak üzere iki farklı aktivatör tercih edilmiştir. Her iki aktivatör için, aktivatör çözeltisinin karışıma eklenme sırasına bağlı olarak üç farklı üretim yöntemi (B, O ve S) uygulanmıştır. Harçlar 90 °C’de 24 saat ısıtılıp kuru işlemine tabi tutulmuş; taze karışımlarda yayılma deneyi, 7 günlük numunelerde ise basınç dayanımı tayini gerçekleştirilmiştir. Bulgular, karıştırma sırasının işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ve en yüksek akışkanlığın suyun bir kısmının aktivatörden ayrı tutulduğu “O” yönteminde elde edildiğini göstermiştir. Basınç dayanımı açısından, NaOH içeren karışımlarda en yüksek değer 12,63 MPa ile “B” yönteminde, Na_2SiO_3 içeren karışımlarda ise 11,37 MPa ile “S” yönteminde ölçülmüştür. Sonuçlar, aktivatörün eklenme sırasının partikül yüzey etkileşimleri ve erken yaş reaksiyon kinetiği üzerinde belirleyici olduğunu; bu nedenle üretim parametrelerinin optimize edilmesinin hem işlenebilirlik hem de dayanım açısından kritik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Pomza, Geopolimer harç, üretim yöntemi, aktivatör türü, işlenebilirlik, dayanım

EFFECT OF ACTIVATOR ADDITION SEQUENCE ON EARLY-AGE STRENGTH AND WORKABILITY OF FINELY GROUND PUMICE-BASED GEOPOLYMER MIXES

ABSTRACT

In this study, the effects of different production methods and activator types on the fresh and mechanical properties of pumice-based geopolimer mortars were investigated. Pumice sourced from Nevşehir, Türkiye, was ground to below 45 µm, and two activators—sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3)—were used. For each activator, three different mixing procedures (B, O, and S) were designed based on the sequence of activator addition. The mortars were heat-cured at 90 °C for 24 hours. Flow tests were performed on fresh mixes, and compressive strength tests were conducted on 7-day specimens. The results indicated that the mixing sequence had a significant effect on workability, with the highest flowability achieved in the “O” method, where part of the mixing water was kept separate from the activator. In terms of strength, the highest compressive strength among NaOH-activated mixes was 12.63 MPa for the “B” method, while the Na_2SiO_3 -activated mix prepared with the “S” method reached 11.37 MPa. Overall, the findings demonstrate that the sequence of activator addition critically influences particle–surface interactions and early reaction kinetics, highlighting the importance of optimizing mixing parameters to improve both workability and mechanical performance.

Keywords: Pumice, geopolimer mortar, production method, activator type, workability, strength

2. GİRİŞ

Pomza, volkanik patlamalar sırasında lavın ani bir şekilde soğuyup gazlarını hızla kaybetmesi sonucu oluşan, gözenekli ve hafif bir volkanik taştır. Yüksek oranda silis (SiO_2) içeren lavın ani basınç değişimiyle köpükleşip katılaşmasıyla meydana gelir [1]. Gözenekli yapısı sayesinde suyu emme özelliği oldukça yüksektir ve bu nedenle inşaat, izolasyon, kozmetik ve tarım gibi birçok alanda kullanılmaktadır [2,3]. Genellikle açık gri, beyaz veya açık kahverengi tonlarında bulunan pomza, hem doğal hafifliği hem de aşındırıcı özelliğiyle ekonomik açıdan değerli bir taş türüdür.

Pomzanın yapı malzemeleri alanındaki kullanımı üzerine yapılan akademik çalışmalar, özellikle taşın puzolan ve hafif agrega olarak değerlendirilme potansiyeline odaklanmıştır [4-6]. Bu araştırmalarda, pomzanın çimento esaslı sistemlerde bağlayıcı özellik göstermesi ve hafif beton üretiminde yoğunluk azaltıcı katkı olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bunun yanında, pomzanın yalıtım malzemesi ve asfalt katkısı gibi farklı mühendislik uygulamalarında da değerlendirilmesine yönelik çalışmalar bulunmaktadır [7,8]. Bu tür araştırmalar, pomzanın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kullanım amacına göre nasıl optimize edilebileceğini ortaya koymayı hedeflemekte; ancak malzemenin gözeneklilik, dayanım ve su emme gibi sınırlayıcı özellikleri nedeniyle sonuçlar uygulama alanına göre değişkenlik göstermektedir.

Literatürde pomzanın geopolimer öncü malzemesi olarak kullanımına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Mevcut araştırmaların büyük bölümü uçucu kül, cüruf veya metakaolin gibi geleneksel kaynaklara odaklanmış olup, pomza esaslı sistemlerin alkali aktivasyon davranışı, reaksiyon ürünleri ve dayanım gelişimi hakkında sınırlı veri bulunmaktadır. Bununla birlikte, pomzanın yüksek silika ve alümina içeriği ile gözenekli yapısı, uygun aktivasyon koşulları altında geopolimerizasyon için potansiyel bir malzeme olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, pomza esaslı geopolimerlerin geliştirilmesi hem bölgesel atık ve doğal kaynakların değerlendirilmesi hem de düşük karbonlu bağlayıcı sistemlerin çeşitlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmada kullanılan pomza, Nevşehir'deki yerel bir tesisinden temin edilmiş ve tane boyutu 45 mikronun altına incek şekilde öğütülmüştür. Toplamda 6 karışım oluşturulmuştur. İlk 3 karışımında aktivatör olarak saflığı %97 olan 10 Molar sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılmıştır. Geriye kalan 3 karışımında ise bileşiminin %65'i su ve silikat modülü 2 olan sodyum silikattan (Na_2SiO_3) pomza ağırlığının %5'i kadar Na_2O içerecek şekilde kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,45, kum/pomza oranı ise 3 olarak belirlenmiştir. Böylece karışımın işlenebilirliği ile reaksiyon kinetiği arasında dengeli bir yapı elde edilmiştir. Harç karışımlarında 3 gözlü 5x5x5 cm harç kalıpları için kullanılan malzeme miktarları **Çizelge 1** de sunulmuştur. Karışım kodları kullanılan aktivatör türü ve aktivatör solüsyonunun karışıma eklenme sırasına göre belirlenmiştir. SH: sodyum hidroksit için, SS ise sodyum silikat için kodlanmıştır. B yöntemi kapsamında, pomza ile aktivatör çözeltisi öncelikle Hobart mikserine alınarak belirli bir süre karıştırılmıştır. Ardından karışıma kum ilave edilmiş ve tüm bileşenlerin homojen bir karışım elde edilene kadar birlikte karıştırılması işlem tamamlanmıştır.

O yönteminde ise suyun yarısı aktivatör çözeltisine dâhil edilmemiştir. Bu yöntemde öncelikle pomza ile su mikser içerisine alınarak karıştırılmış, ardından suyun kalan yarısı aktivatör çözeltisine eklenmiş ve kum ile birlikte karışıma dâhil edilmiştir. Tüm bileşenlerin karıştırılmasıyla üretim süreci tamamlanmıştır. S yönteminde ise suyun yarısı pomza ile birlikte mikser içerisine alınmış ve karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra karışıma kum ilave edilmiş, homojen bir yapı elde edildikten sonra kalan aktivatör çözeltisi eklenmiş ve karıştırma işlemi sonlandırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra kalıplara dökülen harçlar, 90 °C de 24 saat ısıl küre tabi turulmuştur. Bu işlemden sonra da kalıplarından çıkarılmış ve deney gününe kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Taze harçlar üzerinde Deney TS EN 1015-3 standardına uygun olarak yayılma deneyleri uygulanmış ve yayılma çapları ölçülmüştür. 7 günlük harçlar üzerinde de TS EN 196-1 standardına uygun olarak basınç dayanımı tayini gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 1. Harç karışımlarında kullanılan malzeme ağırlıkları (g)

Karışım Kodu	Pomza	Sodyum Hidroksit	Sodyum Silikat	Bazalt kumu	Su
SH-B	220	39	0	610	99
SH-O	220	39	0	610	99
SH-S	220	39	0	610	99
SS-B	220	0	94	610	38
SS-O	220	0	94	610	38
SS-S	220	0	94	610	38

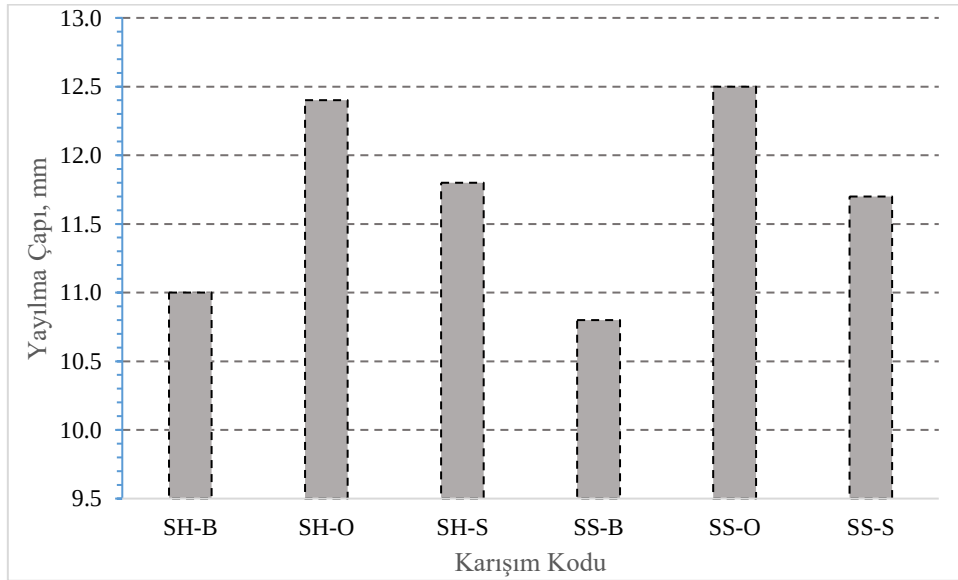
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Harçların görünüşleri **Görsel 1**'de sunulmuştur. Aktivatör çözeltisinin karışıma dâhil edilme sırasının, karışımın işlenebilirliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, karıştırma sırasının bileşenler arasındaki iyonik etkileşimler, reaksiyon başlangıç zamanı ve tanecik yüzeylerinin kaplanma etkinliği üzerinde farklı etkiler oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Aktivatörün erken veya geç eklenmesi, sistemdeki viskozite gelişimini, su dağılımını ve partikül dispersiyonunu doğrudan etkileyerek işlenebilirlikte gözlenen değişimlere yol açmıştır.

Harçların yayılma çapları **Görsel 2**'de sunulmuştur. Kullanılan aktivatör türü fark etmeksizin üretim yöntemleri arasında yapılan karşılaştırmada, en iyi işlenebilirlik ve kıvam “O” yönteminde elde edilmiştir. Bu yöntemde suyun bir kısmının aktivatör çözeltisinden ayrı tutulması, pomzanın yüzey doygunluğunu artırarak suyun ani emilimini azaltmış ve karışımın akışkanlığını iyileştirmiştir. “S” yöntemi benzer bir yaklaşım izlese de, aktivatörün karışıma daha geç eklenmesi erken yüzey reaksiyonlarını artırarak kıvamı bir miktar düşürmüştür. Buna karşın, “B” yönteminde aktivatörün en başta eklenmesi nedeniyle erken jel oluşumu hızlanmış, viskozite artmış ve karışımın işlenebilirliği azalmıştır.



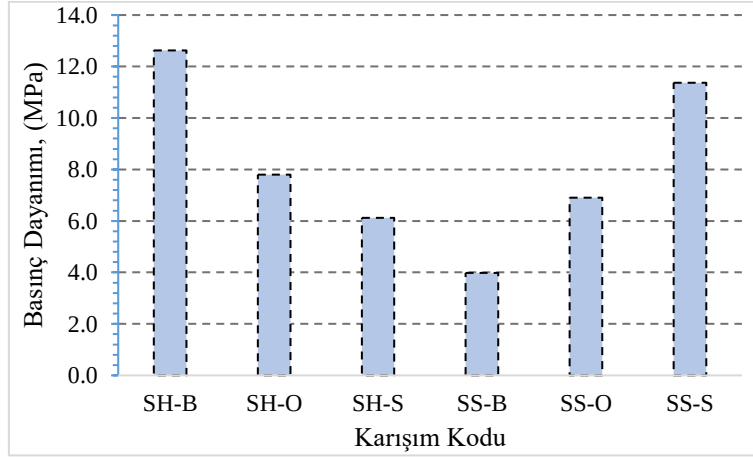
Görsel 1. Harçların kesitleri



Görsel 2. Harçların yayılma çapları

Harçların 7 günlük basınç dayanımları **Görsel 3**'de sunulmuştur. B yöntemi ile üretilen SH-B karışımı 12,63 MPa ile en yüksek basınç dayanımını göstermiştir. Bu yöntem, aktivatör çözeltisinin pomza ile ön karıştırılmasını içerdiğinden, pomza partiküllerinin yüzeyine aktivatörün etkin bir şekilde temas etmesini sağlamış ve reaksiyon kinetiğini artırmış olabilir. O ve S yöntemleriyle üretilen SH-O ve SH-S karışımlarının basınç dayanımları sırasıyla 7,8 MPa ve 6,12 MPa olarak daha düşük kalmıştır. O yöntemi suyun bir kısmının sonradan eklenmesini içerdiği için çözeltinin pomza ile etkin teması sınırlanmış, S yöntemi ise karışıma suyun yarısını pomza ile birlikte almasına rağmen, homojen reaksiyon için yeterli aktivatör-partikül etkileşimi sağlanamamış olabilir.

SS-S karışımı 11,37 MPa ile diğer SS karışımlarına kıyasla en yüksek dayanımı göstermiştir. Bu yöntem, suyun yarısını pomza ile birlikte mikserle karıştırmayı içerir; sodyum silikatın viskoz doğası nedeniyle, bu yaklaşım çözeltinin pomza yüzeyine eşit olarak dağılmasını ve jelleşme reaksiyonlarının daha etkin gerçekleşmesini desteklemiş olabilir. SS-B ve SS-O karışımlarının basınç dayanımları sırasıyla 3,98 ve 6,91 MPa olup, özellikle SS-B’de düşük dayanım, erken karışımda silikat çözeltisinin viskoz yapısının homojen dağılmasını sınırlaması ve pomza yüzeyiyle etkin temasın yetersiz kalmasıyla açıklanabilir.



Görsel 3. Harçların basınç dayanımları

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

- Yapılan deneysel çalışma sonucunda, farklı üretim yöntemlerinin harçların işlenebilirliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Suyun bir kısmının aktivatör çözeltisinden ayrı tutulması, pomza tanelerinin yüzey doygunluğunu artırarak ani su emilimini sınırlamış ve böylece karışımın akışkanlığını iyileştirmiştir.
- Aktivatörün karışıma eklenme sırası, erken yaşta jelleşme ve polimerizasyon reaksiyonlarının hızını etkileyerek mikroyapıyı ve dolayısıyla basınç dayanımını belirlemektedir. Sodyum silikat ve sodyum hidroksit gibi farklı reaktiviteye sahip aktivatörlerde, bu etki daha belirgin hale gelmektedir.
- Sodyum hidroksit içeren karışımlarda en yüksek dayanım 12,63 MPa ile “B” yönteminde elde edilmiş, bu durum aktivatörün pomza yüzeyiyle erken ve etkin temasının reaksiyon kinetiğini artırdığını düşündürmektedir. Sodyum silikat içeren karışımlarda ise en yüksek dayanım 11,37 MPa ile “S” yönteminde ölçülmüş; viskoz silikat çözeltisinin pomza yüzeyine dengeli dağılması bu sonucu desteklemiştir.
- Bu bulgular, üretim parametrelerinin optimize edilmesinin, hem taze karışım özelliklerinin hem de nihai malzeme performansının iyileştirilmesine katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Gündüz, L., Rota, A., & Hüseyin, A. (2001). Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi, 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 118, 175-188.
- [2] Elmastaş, N. (2012). Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). Journal of International Social Research, 5(23).
- [3] Orhan, A., Dinçer, İ., Akın, M., & Çoban, S. (2017). Nevşehir Pomza Endüstrisi'nin genel değerlendirilmesi. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 571-579.
- [4] Moolchandani, K. (2025). Advancements in pumice-based concrete: A comprehensive review. Next Materials, 8, 100646.
- [5] Rashad, A. M. (2021). An overview of pumice stone as a cementitious material—the best manual for civil engineer. Silicon, 13(2), 551-572.
- [6] Rashad, A. M. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. Journal of Building Engineering, 25, 100802.
- [7] Aslan, M., & Bakış, A. (2020). Usability of pumice, ignimbrite and perlite in stone mastic asphalt. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (18), 743-754.
- [8] Celik, S., Family, R., & Menguc, M. P. (2016). Analysis of perlite and pumice based building insulation materials. Journal of Building Engineering, 6, 105-111.

INFLUENCE OF BUILDING HEIGHT ON THE SEISMIC RESPONSE OF BASE-ISOLATED STRUCTURES

Prof. Dr. ELİF ÇAĞDA KANDEMİR

Izmir Democracy University, Department of Civil Engineering,

elifcagda.kandemir@idu.edu.tr, 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

Base-isolated buildings are designed to reduce the destructive effects of earthquakes by limiting movement between the structure and the ground, therefore providing rigid-block like motion. This technology has become an important part of modern earthquake-resistant design, as it helps to protect both the structural elements and the contents of a building. The performance of base-isolated systems depends on several factors, including the characteristics of the isolator, the structural mass and the overall geometry of the building. One of the most influential parameters is the story height, which affects the stiffness, mass distribution and dynamic behavior of the structure. The influence of base isolation to the structural period depends on the height of buildings, and the purpose is to limit the excessive increment of period. In this paper, examining how variations in story height influence the seismic performance of base-isolated buildings provides valuable insight in the suitable number of stories. Understanding this relationship contributes to optimizing isolator properties, improving structural safety and enhancing comfort levels during seismic events. In this study, base-isolated low- and mid-rise buildings have been compared using numerical models and nonlinear analyses to demonstrate how interstory drifts change with different building heights. In addition, isolator properties have been assessed to resist severe earthquake motions.

Keywords : Severe earthquake, building, base isolation, dynamic analysis.

1. INTRODUCTION

Through engineering solutions known as seismic control systems, both the structural system itself and the integrated control mechanisms can be made more resistant to earthquake forces.

These systems are generally classified into three main categories: active control systems, passive control systems, and hybrid (semi-active) control systems.

The main objective of these systems is to detect the dynamic loads acting on the structure in advance and generate counterforces that actively respond to these loads, thereby ensuring the protection of the structural integrity and the critical equipment inside. Active control systems are generally examined under five main categories:

- Active Mass Damper Systems
- Variable Stiffness and Damping Systems
- Smart Materials
- Active Beam Dampers
- Gravity-Actuated Systems

Hybrid control systems are systems in which devices with active and passive control mechanisms are used together.

- Variable stiffness devices
- Controllable fluid damping devices
- Frictional damping devices

Passive control systems absorb the energy transmitted to the structure due to external dynamic effects such as earthquakes and strong winds through specially integrated structural elements. They dissipate this energy by converting it into heat or through mechanical deformations, thereby reducing its impact on the system.

Passive control systems are generally divided into two main groups: passive energy dissipation systems and seismic isolation damping systems.

Elastomeric (rubber) isolators are structural elements that can carry vertical loads with high vertical stiffness while resisting horizontal seismic forces with relatively lower stiffness [1]. To enhance the damping capacity of natural rubber isolators, which have low inherent damping characteristics, a lead core is placed at the center of the isolator. In this configuration, the lead

core provides a damping capacity of approximately 15% to 35%, significantly improving the system's overall energy dissipation performance.

Under low-level loading, this type of isolator exhibits stiff behavior in both horizontal and vertical directions [2]. The steel plates surrounding the lead core allow the system to undergo shear deformation under horizontal loads. The typical yield strength of the lead core is around 10 MPa, and once this limit is exceeded, the horizontal stiffness decreases significantly. The energy dissipation behavior resulting from the plastic deformation of the lead is modeled in the form of a hysteresis loop.

This study investigates the effect of building height on the seismic behavior of base-isolated buildings. Steel structures with 5, 6, 7, and 8 stories were analyzed using nonlinear time history analyses in SAP2000 under severe earthquakes.

2. STRUCTURAL ANALYSIS

The isolator stiffness and damping were calculated for an 8-story building, assuming 20 columns and a period of $T = 1.5$ seconds. The earthquake records taken into account are given in Table 1.

Table 1. Selected earthquake records

Earthquake	Station	Fault	Magnitude (Mw)	Component	PGA (g)
Kocaeli, 1999	Duzce	FF	7.2	180	0.312
				270	0.364
Kobe, 1995	Takatori	NF	6.9	0	0.618
				90	0.671
Chi-Chi, 1999	TCU120	NF	7.6	0	0.197
				90	0.227

The interstory lateral displacement results revealed that the number of stories has a significant influence on the seismic response of base-isolated buildings. As the number of stories increased, both the total height and mass of the structure also increased, leading to an elongation of the structural period. This elongation, combined with the isolator's flexibility, resulted in larger

lateral displacements at the isolation level. While the base isolation system effectively reduced the acceleration transmitted to the superstructure, the displacement demand at the isolation interface increased notably in taller buildings. Among the analyzed models, the 8-story building exhibited the highest interstory drift ratios, indicating that additional design considerations, such as enhanced isolator capacity or supplemental damping devices, may be required to control excessive displacements in high-rise base-isolated structures.

3. RESULTS

The outcomes of the nonlinear time-history analyses for base-isolated buildings with varying story heights are summarized in the tables below. These tables present the interstory lateral displacements observed under different earthquake records, allowing for a clear comparison of structural responses across building heights and seismic inputs. By examining these numerical results, it is possible to identify trends in drift behavior, evaluate the performance of isolators, and assess compliance with code-specified limits, such as the interstory drift ratio recommended by the UBC. The tabulated data provide a concise and organized representation of the seismic performance of low- and mid-rise base-isolated structures, facilitating detailed interpretation and discussion.

Table 2. Interstory Drift of the 8-Story Building

	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$	$\Delta H4$	$\Delta H5$	$\Delta H6$	$\Delta H7$	$\Delta H8$
Chi-Chi (TCU120-E)	0.00402	0.00486	0.00476	0.00473	0.0044	0.0042	0.00357	0.00285
Chi-Chi (TCU120-N)	0.00209	0.00264	0.00267	0.00273	0.00261	0.00255	0.00218	0.00173
Kobe (Takatori-0)	0.01073	0.01353	0.0135	0.01367	0.01281	0.01233	0.01046	0.00833
Kobe (Takatori-90)	0.00927	0.01169	0.01172	0.01193	0.01125	0.01088	0.00927	0.00738
Kocaeli (Düzce-180)	0.00055	0.00073	0.00079	0.00084	0.00082	0.0008	0.00069	0.00054
Kocaeli (Düzce-90)	0.00025	0.00035	0.00039	0.00042	0.00042	0.00042	0.00037	0.00029

Table 3. Interstory Drift of the 7-Story Building

	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$	$\Delta H4$	$\Delta H5$	$\Delta H6$	$\Delta H7$
Chi-Chi (TCU120-E)	0.00353	0.00415	0.00399	0.00383	0.00344	0.00309	0.00241
Chi-Chi (TCU120-N)	0.0022	0.00263	0.00258	0.00252	0.0023	0.00209	0.00163
Kobe (Takatori-0)	0.01075	0.01276	0.01219	0.01161	0.01031	0.00918	0.00713
Kobe (Takatori-90)	0.00912	0.01086	0.01043	0.01	0.00893	0.00799	0.0062
Kocaeli	0.00065	0.00082	0.00082	0.0008	0.00073	0.00067	0.00052

(Düzce-180)							
Kocaeli (Düzce-90)	0.00029	0.00033	0.00037	0.00041	0.00041	0.0004	0.00031

Table 4. Interstory Drift of the 6-Story Building

	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$	$\Delta H4$	$\Delta H5$	$\Delta H6$
Chi-Chi (TCU120-E)	0.002969	0.003377	0.003157	0.002869	0.002403	0.001894
Chi-Chi (TCU120-N)	0.001991	0.002331	0.002234	0.002074	0.001757	0.001389
Kobe (Takatori-0)	0.010837	0.012277	0.011306	0.010129	0.008369	0.006563
Kobe (Takatori-90)	0.009457	0.010774	0.009969	0.008969	0.007429	0.005834
Kocaeli (Düzce-180)	0.000754	0.00084	0.00078	0.000703	0.000591	0.000469
Kocaeli (Düzce-90)	0.000306	0.00032	0.000343	0.000377	0.000357	0.000294

Table 5. Interstory Drift of the 5-Story Building

	$\Delta H1$	$\Delta H2$	$\Delta H3$	$\Delta H4$	$\Delta H5$
Chi-Chi (TCU120-E)	0.002454	0.002597	0.002269	0.00184	0.001326
Chi-Chi (TCU120-N)	0.001603	0.001743	0.001551	0.001274	0.000923
Kobe (Takatori-0)	0.007937	0.00844	0.00732	0.005903	0.004229
Kobe (Takatori-90)	0.006834	0.007291	0.006337	0.005126	0.003677
Kocaeli (Düzce-180)	0.00052	0.000563	0.000509	0.00042	0.000306
Kocaeli (Düzce-90)	0.000214	0.000249	0.00024	0.000219	0.000168

In the case of the Kobe earthquake, the interstory drift ratios in the 8-, 7-, and 6-story buildings exceeded the limit of 0.01, as specified by the UBC code, indicating potential concerns for structural performance. In contrast, the 5-story building remained within the permissible drift limits, and no such exceedance was observed. This demonstrates that taller base-isolated buildings are more susceptible to higher lateral displacements under strong seismic excitations, emphasizing the importance of considering story height when designing for drift-controlled performance.

4. RESULTS

The results can be summarized as follows,

- As the number of stories increases, both the total mass and height of the structure increase, causing an elongation of the structural period. In base-isolated systems, this period elongation combined with the isolator effect leads to larger lateral displacements.
- The 8-story building models exhibited significantly higher interstory drift ratios compared to the 5-story models.
- The Kobe and Chi-Chi earthquakes, which have near-fault characteristics, produced high accelerations and short-duration pulses.
- These near-fault records caused sudden and large displacement demands in base-isolated structures.
- The Kocaeli earthquake, representing far-fault effects, generated longer-duration but lower-amplitude ground motions.
- Under such far-fault conditions, base isolators showed better energy dissipation and overall seismic performance.
- When planning the use of seismic isolators for high-rise steel structures, the horizontal displacement requirements of the building should be carefully evaluated, and the structure should be made stiffer. If necessary, the isolator capacity should be increased or supplemented with alternative damping systems.



REFERENCES

- [1] Charnpis D C, Komodromos P, Phocas M C. Optimized earthquake response of multi-storey buildings with seismic isolation at various elevations. *Earthq Eng Struct Dyn* 2012;41(15):2289–310.
- [2] Kelly J M. *Base isolation: Linear theory and design*. *Earthquake Spectra* 1990;6(2):223–44.
- [3] Kandemir, E. C., The effect of frequency-filtered earthquakes for optimum base isolation parameters across varied soil conditions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2025, 193, 109330.

POST-EARTHQUAKE DAMAGE ASSESSMENT OF MASONRY BUILDINGS

UFUK AKIN ¹, Prof. Dr. ELİF ÇAĞDA KANDEMİR ²

¹ M.Sc. Student, Izmir Democracy University, Department of Civil Engineering,

2317102003@std.idu.edu.tr

²Izmir Democracy University, Department of Civil Engineering,

elifcagda.kandemir@idu.edu.tr, 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

In civil engineering, post-earthquake damage assessment of different types of buildings is essential to ensure the rapid allocation of residents to safe areas or their removal from unsafe structures. Since there is limited time to conduct detailed analyses after an earthquake, many studies in the literature have proposed rapid evaluation methods, such as machine learning-based image processing techniques, simple numerical modeling approaches, empirical relationships and field-based visual inspection methods. Therefore, practical and efficient assessment methods that can capture visible signs of distress, such as cracking and separation, are of great importance for evaluating the post-earthquake safety of masonry buildings. From a structural perspective, the damage in masonry walls generally initiates at stress concentration points, such as openings and corners, where tensile stresses exceed the material's low tensile strength. The formation and propagation of diagonal shear cracks often indicate in-plane loading effects, while vertical or horizontal cracking patterns may reveal out-of-plane failures or separation between wall components. Moreover, the presence of poor mortar joints, insufficient anchorage and lack of bond between orthogonal walls further accelerate the deterioration process. In this study, a simple post-earthquake damage assessment method of masonry structures is demonstrated, focusing on identifying the severity and extent of cracks and other visible defects. Finally, a sample masonry building is analyzed to demonstrate the application of the proposed damage assessment procedure, highlighting the relationship between observed damage and construction quality.

Keywords: Damage assessment, earthquake, masonry buildings, rapid approach.



1. INTRODUCTION

The quality of materials such as bricks, stones and briquettes used in the construction of masonry buildings, the form of horizontal and vertical joints, the behavior of materials and load-bearing elements, as well as the analysis and construction processes, should be carefully monitored and supervised [1-5].

Causes of construction-related damages in masonry structures can be summarized as,

- Wall elements placed irregularly on top of each other in load-bearing walls,
- Units not being bonded together with strong mortar,
- Creation of door and window openings large enough to disrupt wall integrity,
- Use of different types of materials in the walls of the building,
- One-way load transfer in floors,
- Joint defects at wall corners.

In masonry structures, damages or cracks may occur due to earthquakes, external loads, or settlements in the foundations. By examining the shape, location, and size of the damage or crack, it can be determined whether it is significant enough to affect the structure or can be considered minor.

2. FAST DAMAGE ASSESSMENT

The table below presents that provides the damage code and damage class of the element based on the crack width and other structural damages observed in masonry walls [1].

Table 1. Damage code and damage classes

Damage Code	Damage Class	Criteria
O Type Damage	No Damage	No cracks or crushing in the wall. Cracks or spalling may occur in the plaster.
A Type Damage	Slight Damage	Hairline cracks (≤ 1 mm).
B Type Damage	Moderate Damage	Crack width ≤ 5 mm, mortar spalling.
C Type Damage	Severe Damage	Crack width ≤ 10 mm, block crushing, mortar spalling.
D Type Damage	Very Severe Damage	Partial or complete disintegration, collapse, and/or overturning of the load-bearing wall.

External damage assessment is a method based on observational examination of the structure from the outside. If there is a total or partial collapse in the structure, if the permanent interstory drift ($\delta/h > 0.02$) is observed, or if the tilting of the building due to differential settlements in the foundation exceeds 3° , the structure is considered severely damaged. In such cases, the inspection should be terminated.

Before starting the internal damage assessment in masonry structures, the floor to be examined is determined. If one floor has clearly sustained more damage than the others, the inspection is carried out only on that floor. However, if the damage appears to be at a similar level across all floors, the investigation is conducted on the most severely damaged floors. Based on the inspection results, the floor with the highest level of damage is considered to represent the overall damage level of the building.

After determining the floor or floors to be examined, the walls of each room should be inspected individually. However, shared walls between adjacent rooms should be considered only once. In the calculations, the length and width of the wall should be taken into account, while the wall height should not be considered. When calculating the wall area, if there are door or window openings, they should be subtracted from the total wall length, and the net wall length should be used as the basis.

To determine the damage levels of the walls in each room, cracks on the plaster and wall surfaces should be examined, and their widths and locations should be identified. Each wall should then be classified according to the type of damage observed as (0, A, B, C, D). These

assigned damage levels reflect only the condition of the load-bearing walls, not the overall damage state of the structure.

After determining the damage conditions of the load-bearing walls, the Weighted Damage Percentage is calculated using the following equation. In this formula, O, A, B, C, and D represent the areas of the vertical load-bearing elements.

$$AHY = \frac{[Ax0,15] + [Bx0,35] + [Cx0,65] + [Dx1,00]}{O + A + B + C + D} \times 100$$

Based on the calculation results, if the Vertical Weighted Damage Percentage (AHY) is between 0% and 20%, the structure is considered slightly damaged; if it is between 20% and 50%, the structure is moderately damaged; and if the Vertical AHY exceeds 50%, the structure is classified as severely damaged.

3. DAMAGE ASSESSMENT OF A SAMPLE MASONRY STRUCTURE

In this section, a sample masonry structure has been analyzed through the given damage codes and classes and finally formula.

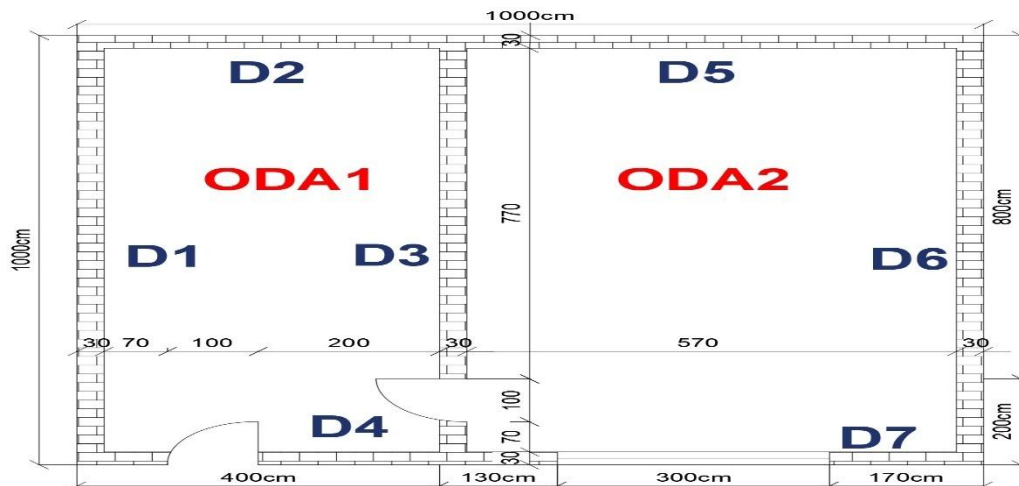


Figure 1. A simple masonry structure

Table 2. Cracks of the walls in the given structure

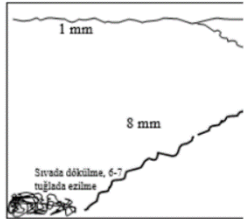
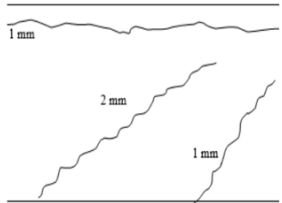
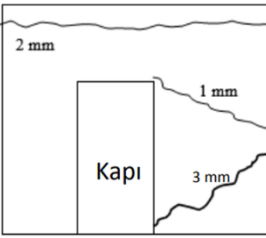
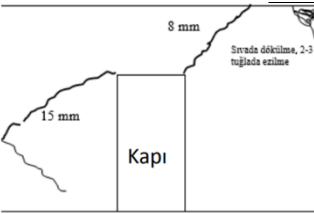
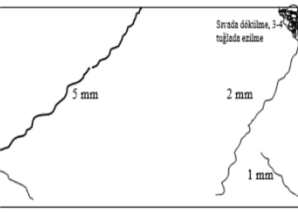
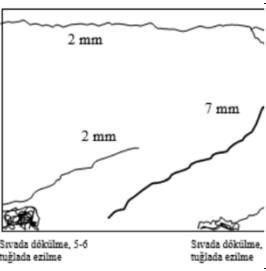
D1	 Damage: Maximum crack width of 8 mm plaster spalling, brick crushing Type C (Severe) Damage Wall area: $1000 \times 30 = 30000 \text{ cm}^2$
D2	 Damage: Maximum crack width of 2 mm Type B (Moderate) Damage Wall area: $370 \times 30 = 11100 \text{ cm}^2$
D3	 Damage: Maximum crack width of 3 mm Type B (Moderate) Damage Wall area: $(1000 - 100) \times 30 = 27000 \text{ cm}^2$
D4	 Damage: Maximum crack width of 15 mm, plaster spalling, brick crushing Type D (Very Severe) Damage Wall area: $(370 - 100) \times 30 = 8100 \text{ cm}^2$
D5	 Damage: Maximum crack width of 5 mm, plaster spalling, brick crushing Type C (Severe) Damage Wall area: $570 \times 30 = 17100 \text{ cm}^2$
D6	 Damage: Maximum crack width of 7 mm, plaster spalling, brick crushing Type C (Severe) Damage Wall area: $1000 \times 30 = 30000 \text{ cm}^2$
D7	 Damage: Maximum crack width of 3 mm Type B (Moderate) Damage Wall area: $(570 - 300) \times 30 = 8100 \text{ cm}^2$

Table 3. Damage assessment of sample masonry structure

Room No	Wall No	Damage Type	Wall Length	Wall Opening Length	Wall Thickness	Net Wall Area (cm ²)
ROOM1	D1	C	1000 cm	0 cm	30 cm	30,000
ROOM1	D2	B	370 cm	0 cm	30 cm	11,100
ROOM1	D3	B	1000 cm	100 cm	30 cm	27,000
ROOM1	D4	D	370 cm	100 cm	30 cm	8,100
ROOM2	D5	C	570 cm	0 cm	30 cm	17,100
ROOM2	D6	C	1000 cm	0 cm	30 cm	30,000
ROOM2	D7	B	570 cm	300 cm	30 cm	8,100

Σ O Type (cm ²)	Σ A Type (cm ²)	Σ B Type (cm ²)	Σ C Type (cm ²)	Σ D Type (cm ²)
0	0	46200	77100	8100

AHY: 57%

Damage Level: *Severely Damaged*

4. RESULTS

The damage assessment of the masonry walls in Rooms ODA1 and ODA2 was carried out based on wall dimensions, openings, and observed damage types. The total wall areas were categorized according to the damage classification defined by wall type codes (O, A, B, C, and D).

According to the analysis results, the total wall areas corresponding to B-type (moderate damage), C-type (severe damage), and D-type (very severe damage) categories were found to be significantly higher than those of the undamaged or slightly damaged walls. The cumulative evaluation indicates that approximately 57% of the total wall area (AHY = 57%) is affected by severe or higher damage levels.

Therefore, the examined region is classified as “Severely Damaged”, implying that the structural integrity of the load-bearing walls has been notably compromised and that significant repair or partial reconstruction is required to restore structural safety.

REFERENCES

- [1] İlki, A., Demir, C., Cömert, M., Halıcı, Ö. F., *Betonarme ve Yığma Binalarda Deprem Kaynaklı Hasarlar ve Hasar Tespiti*, ÇŞB, 2019.
- [2] Özcan, K., *Yapı*, Bilim Kitap Kirtasiye, 345s, 2002.
- [3] Önal, M.M., Koçak, A., *Yığma Yapı Hasarları ve Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Ayrıntıları*, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi , vol.1, Antalya, Turkey, pp.93-108.
- [4] Sorguç, D., *İnşaatların Deprem Hasarlarından Doğan Sorumlulukların ve Hasarlı Binaların Onarma ve Güçlendirme Yolları*, İTO Yayın No 2000-45, İstanbul.
- [5] Çırak, İ. F., *Yığma Yapılarda Oluşan Hasarlar, Nedenleri ve Öneriler*, UTBD, c. 3, sy. 2, ss. 55–60, 2011.

DOĞU KAYINI ODUNUNDA FARKLI ÖZELLİKLERDE HAZIRLANMIŞ AHŞAP KORUYUCU YAĞLARININ KULLANMASI

Doç. Dr. Abdi ATILGAN¹, Doç. Dr. Göksel ULAY² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, Afyon, Türkiye

atilgan03@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5893-2113

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,

^{3*}Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Günümüzde ahşap malzemeyi korumak için çeşitli özelliklere sahip ahşap koruyucu yağlar üretilmiş olup, bu ürünler piyasada satılmaktadır. Bu çalışmada, doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) odununda farklı özelliklerde hazırlanmış ahşap koruyucu yağlarının (teras yağı, masif tezgâh yağı, parke yağı, sauna yağı, saman yağı ve tung yağı) kullanması sonrasında elde edilen renk parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır. Sonuçlara göre, yapılan yağ uygulamaları ile h^0 ve L^* parametrelerinde azalışlar görülürken, b^* , C^* ve a^* değerlerinde artışlar elde edilmiştir. ΔE^* değerleri tung yağı ile 7.81, teras yağı ile 9.30, parke yağı ile 9.76, saman yağı ile 10.16 ve sauna yağı ile 11.03 şeklinde bulunmuştur. Yağ uygulamaları ile doğu kayını ahşabının sahip olduğu renk parametrelerinde değişimler tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Doğu kayını, ahşap koruyucu yağ, renk parametreleri

Use of Wood Preservative Oils with Different Properties on Oriental Beech Wood

Abstract

Today, wood preservative oils with various properties are produced and sold on the market to protect wood materials. This study investigated the changes in color parameters obtained after the use of wood preservative oils with different properties (terrace oil, solid countertop oil, parquet oil, sauna oil, straw oil, and tung oil) on oriental beech (*Fagus orientalis* L.) wood. The results showed that decreases in the h^0 and L^* parameters were observed with the oil applications, while increases were observed in b^* , C^* , and a^* values. ΔE^* values were found to be 7.81 with tung oil, 9.30 with terrace oil, 9.76 with parquet oil, 10.16 with straw oil, and 11.03 with sauna oil. Changes in the color parameters of oriental beech wood were observed with the oil applications.

Key words: Oriental beech, wood protective oil, color parameters

1. Giriş

Son yıllarda mühendislik ahşap ürünlerinin ve yeni yapı sistemlerinin ortaya çıkmasıyla birlikte, ahşap mimari artık büyük ölçekli inşaatlarda beton ve çelik rekabet edebilecek

seviyeye gelmiştir. Ayrıca, uzun süredir her türlü yapıda duvar, tavan, döşeme ve mobilya malzemesi olarak iç mekan malzemesi olarak kullanılmaktadır (Alapieti ve ark., 2020).

Ahşap, düşük maliyeti ve çeşitli şekil ve boyutlarda bulunabilirliği, ayrıca ağırlığa göre nispeten yüksek mukavemeti, şekillendirme ve sabitleme kolaylığı, düşük ısı iletkenliği ve ses geçirmezlik kalitesi gibi özellikleriyle öne çıkan bir yapı malzemesidir ve ilk yerleşimcilerden günümüze kadar olağanüstü bir yapı malzemesi olmuştur. Biyolojik kökeni nedeniyle en karmaşık yapı malzemelerinden biridir ve mukavemeti ve dayanıklılığı genel inşaat alanında büyük önem kazanmıştır. Basit el aletleri kullanılarak kiriş, kolon ve çatı sistemlerine dönüştürülmesi nispeten kolaydır. Neme karşı yatkınlığı vardır ve bu durum böceklerin ve çürüten mantarların neden olduğu biyolojik bozulmaya yol açabilmektedir (Dhiman ve Dutt, 2018).

Ahşap işleme yağı, ahşap yapıları işlemenin en basit ve en doğal yoludur. Boyaya göre yadsınamaz avantajları vardır. Sonuçta, yüksek nemli daireler (saunalar, hamamlar, teraslar) için idealdirler. Ayrıca, dışarıdaki sık ve şiddetli sıcaklık değişimlerinde özelliklerini kaybetmezler, deformasyona karşı mükemmel koruma sağlarlar, en çevre dostu, hipoalerjenik ve zararsızdırlar, çok daha kolay ve hızlı uygulanmaktadırlar, yapıyı bakımlı hale getirmektedirler ve yüzey rölyefini korumaktadırlar. Ahşap liflerinin yapısına derinlemesine nüfuz eden yağlar, buhar geçirgenlik indeksini hiçbir şekilde etkilemez. Aynı zamanda yüzeyi nemden korumaktadır, çürümeyi önlemektedir, aşınmaya dayanıklı hale getirmektedir ve güzel bir mat parlaklık kazandırmaktadırlar (Tsapko ve ark., 2021; 2022; Ivanchenko ve Horbachova, 2025).

Koruyucu maddeyle işlenmiş ahşap, genellikle su veya hassas ortamlardaki otoyol ve yaya köprüleri, sulak alan yürüyüş yolları ve diğer yapıların inşasında kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda, ahşaptan çevreye koruyucu madde salınımının en aza indirilmesi önemlidir. Ahşap koruyucuların tanımlanması, öncelikle koruyucunun kimyasal bileşimine ve işlem sırasında kullanılan taşıyıcıya bağlı olarak su veya yağ türü olarak sınıflandırılarak basitleştirilebilmektedir (Lebow, 2001). Etkili bir ahşap koruyucunun gereklilikleri arasında en önemlileri şunlardır (Findlay, 1985):

- İşlenmiş ahşapta kalıcılık,
- Metallerle karşı aşındırıcı olmama,
- Ahşabın derinliklerine nüfuz edebilme,
- Ahşabı tahrip eden organizmalara karşı yüksek toksisite,
- Ahşabın kendisi üzerinde zararlı etkilerden arınmış olma,
- İşçiler ve işlenmiş ahşapla çalışanlar üzerinde zararlı etki yaratmama.

Fırçalama, boya veya diğer ahşap cilalarını uygulamak için kullanılan geleneksel bir tekniktir. Antika veya küçük boyutlu mobilyalar gibi küçük ölçekli cilalama işleri için en kolay ve uygun yöntemdir. Bu yöntem zaman alıcı olduğu için sabır gerektirmektedir. İyi bir sonuç için kaliteli bir fırça ve yüksek kaliteli bir cila kullanılması tavsiye edilmektedir. Yağ bazlı cilalar lateks fırçalarla iyi sonuç vermediği bildirilmiştir. Benzer şekilde, su bazlı cilalar da yağlı fırçalarla iyi sonuç vermediği rapor edilmiştir (Fahmi ve ark., 2018).

Doğal kaplamalar genellikle sentetik kaplamalara kıyasla daha kısa bir kullanım ömrüne sahiptir. Örneğin, lignin veya bitkisel yağ bazlı kaplamalar biyolojik olarak parçalanabilmektedir ve belirli çevre koşullarında daha hızlı bozunabilmektedir, bu da onları uzun süreli koruma gerektiren uygulamalar için uygunsuz hale getirmektedir. Bu sınırlama, bitkisel yağlarla işlenmiş lignin kaplı tekstil ve ahşapların toprağa gömülme testlerinde gözlemlenmiş ve kaplamaların doğal biyolojik parçalanma nedeniyle zamanla etkinliğinin azaldığı bildirilmiştir (Putra ve ark., 2025).

Bu çalışmada, farklı özelliklerde hazırlanmış ahşap koruyucu yağlarının (teras yağı, masif tezgâh yağı, parke yağı, sauna yağı, saman yağı ve tung yağı) doğu kayını (*Fagus orientalis* L.)

odunu yüzeylerine uygulanması ile meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Doğu kayını (*Fagus orientalis* L.) ağaç türüne ait deney numuneleri 100 mm x 100 mm x 15 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Daha sonra iklimlendirme uygulamaları yapılmıştır (ISO 554, 1976). Çalışmada seçilen ahşap türüne ait deney örnekleri ve yağlar (masif tezgâh yağı, sauna yağı, parke yağı, teras yağı, saman yağı ve tung yağı) satın alınma yolu ile elde edilmiştir. Deney örneklerinin yüzeylerine bir fırça yardımıyla tek kat hâlinde yağ türleri (teras yağı, masif tezgâh yağı, parke yağı, sauna yağı, saman yağı ve tung yağı) uygulanmıştır. Renk değişimler belirlenmiştir (ASTM D 2244-3, 2007).

L^* değeri açıklık ve koyuluk derecesini ifade etmektedir ve L^* değeri ne kadar büyükse, numunenin rengi o kadar açık, tam tersi, renk o kadar koyu olmaktadır. a^* değeri, rengin kırmızımsı-yeşilimsi olma eğilimini ölçmek için kullanılmaktadır, a^* değeri negatifse, rengin yeşilimsi olduğu anlamına gelmektedir ve a^* değeri pozitifse, rengin kırmızımsı olduğu anlamına gelmektedir. b^* değeri, rengin sarımsı-mavi olma eğilimini belirtmek için kullanılmaktadır. b^* değeri bir rengin sarımsı-mavi eğilimini belirtmek için kullanılmaktadır. b^* değeri negatif ise rengin mavimsi olduğu, b^* değeri pozitif ise rengin sarımsı olduğu anlamına gelmektedir (Dong ve ark., 2025).

Kroma farkı ΔC^* ile ton veya gölge farkı ise ΔH^* ile ifade edilmektedir (Lange, 1999). Renk parametrelerine (ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^*) dair açıklamalar (Lange, 1999) ile toplam renk farkı ΔE^* 'ye ilişkin değerlendirme kriterleri (Jirouš ve Ljuljka, 1999) Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* için bazı önemli açıklamalar (Lange, 1999) ve ΔE^* için kriterler (Jirouš ve Ljuljka, 1999)

Parametre (Lange, 1999)	Pozitif durumda referans ile karşılaştırıldığında		Negatif durumda referans ile karşılaştırıldığında	
ΔL^*	Daha açık		Daha koyu	
Δb^*	Daha sarı		Daha mavi	
Δa^*	Daha kırmızı		Daha yeşil	
ΔC^*	Daha net, daha parlak		Mat, daha bulanık	
Jirouš ve Ljuljka, (1999) İçin ΔE^* Değerleri	ΔE^* Aralığı	Renk Değişimi	ΔE^* Aralığı	Renk Değişimi
	> 12.00	Çok yoğun	0.50 - 1.50	Hafif
	6.00 - 12.00	Yoğun	0.20 - 0.50	Çok hafif
	3.00 - 6.00	Çok belirgin	< 0.20	Anlaşılamaz
	1.50 - 3.00	Belirgin		

Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıkları belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^0 = \arctan (b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş}}) - (C^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş}}) - (a^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş}}) - (L^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş}}) - (b^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

Bir istatistik programı ile homojenlik grupları, varyans analizleri, maksimum ile minimum değerleri, ortalamalar, standart sapmaları ve % değişim oranları hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Renk parametrelerinde yağ türünü anlamlı elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$ (*: Anlamlı)
L^*	Yağ Türü	378.290	6	63.048	562.692	0.000*
	Hata	7.059	63	0.112		
	Toplam	276506.903	70			
	Düzeltilmiş Toplam	385.349	69			
a^*	Yağ Türü	212.471	6	35.412	599.666	0.000*
	Hata	3.720	63	0.059		
	Toplam	11607.044	70			
	Düzeltilmiş Toplam	216.191	69			
b^*	Yağ Türü	494.929	6	82.488	2003.821	0.000*
	Hata	2.593	63	0.041		
	Toplam	46424.961	70			
	Düzeltilmiş Toplam	497.522	69			
C^*	Yağ Türü	686.085	6	114.347	2050.316	0.000*
	Hata	3.514	63	0.056		
	Toplam	57983.984	70			
	Düzeltilmiş Toplam	689.598	69			
h^0	Yağ Türü	84.054	6	14.009	61.570	0.000*
	Hata	14.334	63	0.228		
	Toplam	283454.235	70			
	Düzeltilmiş Toplam	98.388	69			

Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Çizelge 3’de sunulmuştur. Yapılan yağ uygulamaları ile h^0 ve L^* parametrelerinde azalışlar görülmüştür. Buna ek olarak b^* , C^* ve a^* değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. h^0 ve L^* değerlerinde en yüksek sonuçlar kontrol deney örneklerinde tespit edilmiştir. C^* , b^* ve a^* değerlerinde en düşük sonuçlar kontrol deney örneklerinde elde edilmiştir. L^* değerlerinde en düşük sonuçlar Masif tezgâh yağı uygulamasına sahip deney örneklerinde bulunmuştur. h^0 değerlerinde Sauna yağı uygulamasına sahip deney örneklerinde belirlenmiştir. C^* , b^* ve a^* parametrelerinde en yüksek sonuçlar Masif tezgâh yağı uygulamasına sahip deney örneklerinde görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

Test	Yağ Türü	Mini-mum	Maksi-mum	Orta-lama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç	Standart Sapma	Varyasyon Katsayısı
L^*	Uygulama yok	67.58	68.27	67.90	-	A*	0.24	0.35
	Teras yağı	62.20	62.73	62.45	↓8.03	C	0.23	0.37
	Masif tezgâh yağı	60.45	60.63	60.52	↓10.87	E**	0.06	0.09
	Parke yağı	61.64	62.36	62.09	↓8.56	D	0.23	0.38
	Sauna yağı	60.43	62.78	60.75	↓10.53	E	0.72	1.18
	Saman yağı	61.94	62.14	62.03	↓8.65	D	0.07	0.11
	Tung yağı	63.54	64.41	63.91	↓5.88	B	0.31	0.48
a^*	Uygulama yok	8.39	9.16	8.84	-	G**	0.23	2.57
	Teras yağı	12.48	12.97	12.73	↑44.00	E	0.15	1.22
	Masif tezgâh yağı	14.43	14.75	14.60	↑65.16	A*	0.11	0.76
	Parke yağı	12.95	13.32	13.10	↑48.19	D	0.14	1.05
	Sauna yağı	12.63	14.36	13.96	↑57.92	B	0.49	3.48
	Saman yağı	13.44	13.76	13.66	↑54.52	C	0.09	0.67
	Tung yağı	11.84	12.63	12.41	↑40.38	F	0.25	2.01
b^*	Uygulama yok	19.10	20.16	19.67	-	E**	0.31	1.59
	Teras yağı	26.02	26.30	26.13	↑32.84	C	0.08	0.31
	Masif tezgâh yağı	28.89	29.55	29.12	↑48.04	A*	0.18	0.63

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, doğu kayını odununa uygulanan farklı yağlar ile ahşap malzemenin sahip olduğu renk parametrelerinde değişiklikler belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Alapieti, T., Mikkola, R., Pasanen, P., and Salonen, H., (2020). The influence of wooden interior materials on indoor environment: a review, *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(4): 617-634. DOI: 10.1007/s00107-020-01532-x.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Dhiman, B., and Dutt, B., (2018). Present status and future strategies of wood preservation industry. *Eco-tourism, Environmental Problems and Sustainable Development*, 226-245. ISBN: 978-93-86841-57-5.
- Dong, Y., Deng, J., and Yan, X., (2025). Effect of chitosan gum arabic-coated tung oil microcapsules on the performance of UV coating on cherry wood surface, *Coatings*, 15(8): 873. DOI: 10.3390/coatings15080873
- Fahmi, A.M., Anwar, U.M.K., and Rafidah, M.S., (2018). Wood finishing: finishes and techniques, *Timber Technology Bulletin*, 86: 1-8.
- Findlay, W.P.K., (1985). Preservative substances. In: Findlay, W.P.K. (eds) *Preservation of timber in the tropics*, Forestry Sciences, vol 17. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-017-2752-5-4.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Ivanchenko, D., and Horbachova, O., (2025). Wood protection measures, *Universum*, (18): 74-78.
- Jirouš, R.V., and Ljuljka, B., (1999). Boja drva i njezine promjene prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima, *Drvena Industrija*, 50(1): 31-39.
- Lange, D.R., (1999). *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York, NY, USA.
- Lebow, S.T., (2001). Guide for minimizing the effect of preservative-treated wood on sensitive environments (No. 122). US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, National Wood in Transportation Information Center.
- Putra, N.R., Yaseen, Z.M., Septya Kusuma, H., Darmokoesoemo, H., and Suharmiati, S., (2025). Green chemistry in wood protection: the role of natural coatings in sustainable development. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 1-33. DOI: 10.1080/02773813.2025.2550500.
- Tsapko, Y., Horbachova, O., Mazurchuk, S., (2021). Bondarenko O. Study of resistance of thermomodified wood to the influence of natural conditions, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1164(1): 012080.
- Tsapko, Y., Horbachova, O., Mazurchuk, S., Sokolenko, K., and Matviichuk, A., (2022). Identifying parameters for wood protection against water absorption, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10): 48-54. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.252176.
- Wood Handbook, (2010). Wood as an engineering material, General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p.

ALTIN OTU ÇİÇEĞİ (*HELICHRYSUM ARENARIUM*) BİTKİSİ EKSTRAKTI VE ŞAP İLE BOYANMIŞ SARIÇAM ODUNUNDA RENK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE MORDAN MADDESİ MİKTARININ ETKİLERİ

Doç. Dr. Göksel ULAY¹, Doç. Dr. Abdi ATILGAN² ve Doç. Dr. Ümit AYATA³

¹Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, İç Mekân Tasarımı Programı, Afyon, Türkiye
atilgan03@aku.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-5893-2113

^{3*}Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com, ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, altın otu çiçeği (*Helichrysum arenarium*) bitkisine ait ekstraktlarından elde edilen boyar maddesi ve farkı miktarlarda ayarlanmış olan şap maddesi kullanılarak hazırlanmış çözeltilerin sarıçam odunu yüzeylerine uygulanması ile meydana gelen renk parametrelerindeki değişimler araştırılmıştır. Deneysel tasarımı kontrol deney ve boyalı örneklerden [1 gr altın otu çiçeği bitkisi ekstraktına sahip 50 ml su mordansız boyalı deney örnekleri ile gr altın otu çiçeği bitkisi ekstraktına sahip 50 ml su mordanlı (1, 1.5, 2 ve 2.5 gr)] oluşmaktadır. Sadece boyalı (mordanlı ve mordansız) deney örnekleri üzerinde bütün deney örneklerinde C^* , b^* , h^0 ve L^* değerlerinde artışlar elde edilirken, a^* değerlerinde azalışlar bulunmuştur. ΔE^* değerleri 0.0 gr şap maddesi ile 5.95, 1.0 gr şap maddesi ile 3.25, 1.5 gr şap maddesi ile 5.51, 2.0 gr şap maddesi ile 5.76 ve 2.5 gr şap maddesi ile 5.32 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Altın otu çiçeği, şap, mordan, sarıçam, renk parametreleri

Effects of Mordant Amount on Color Properties in Scots Pine Wood Dyed with *Helichrysum arenarium* Extract and Alum

Abstract

This study investigated the changes in color parameters resulting from the application of solutions prepared using different amounts of alum and dyes obtained from *Helichrysum arenarium* extracts to Scots pine wood surfaces. The experimental design consisted of control and dyed samples [test samples dyed with 1 g of *Helichrysum arenarium* extract in 50 ml of water without mordant, and 50 g of *Helichrysum arenarium* extract in 50 ml of water with mordant (1, 1.5, 2, and 2.5 g)]. In the dyed test samples alone (with and without mordant), increases in C^* , b^* , h^0 , and L^* values were observed in all test samples, while decreases in a^* values were observed. ΔE^* values were calculated as 5.95 with 0.0 g of alum, 3.25 with 1.0 g of alum, 5.51 with 1.5 g of alum, 5.76 with 2.0 g of alum, and 5.32 with 2.5 g of alum.

Keywords: Helichrysum flower, alum, mordant, Scots pine, color parameters

1. Giriş

Doğal boyalar geçmişte çeşitli uygulamalarda yaygın olarak kullanılmış, ancak sentetik renklerin keşfinden sonra kullanımları hızla azaldığı söylenmiştir. Günümüzde tekstil, gıda ve boya alanlarında doğal boyaların kullanımına olan ilgi giderek arttığı bildirilmiştir (Acquaviva ve ark., 2010).

Doğal renkler çok çeşitli renk ve tonları oluşturabilir. Avrupa’da Bronz Çağı’nda yaygın olarak kullanılan boyama yöntemleri (bitkileri dokuya yapıştırmak veya ezilmiş renkleri kumaşa sürmek gibi) birbirini tamamlayan, zengin ve şaşırtıcı bir renk yelpazesi sunma eğilimindedir (Singh ve Srivastava, 2015; Ahsan ve ark., 2020).

Çiçeklerde, yapraklarda ve meyvelerde bulunan doğal boyalar basit bir işlemle elde edilebilmektedir. Uygun maliyetli olmaları, toksik olmamaları ve tamamen biyolojik olarak parçalanabilmeleri nedeniyle doğal boyalar hala popüler bir araştırma konusudur (Torhani ve ark., 2015).

Mordanlar, boyalar ve lifler arasında bağ oluşturarak daha iyi boya emilimi sağlayan bileşiklerdir. Boyaları kumaşlara etkili bir şekilde “sabitleyerek” daha yoğun ve canlı renkler elde edilmesini sağlamaktadırlar. Mordanlama işlemi, tekstil ürünlerinin boyama öncesinde bir mordanla işlenmesini içermektedir ve bu işlem, lif yapısını boya moleküllerine uyum sağlayacak şekilde değiştirmektedir. Boyamada doğal mordanların kullanımı yüzyıllar öncesine dayanır ve dünya genelindeki kültürlerle yayılmıştır. Mordanlama tekniklerine ilişkin geleneksel bilgi, nesilden nesile aktarılarak bölgesel boyama uygulamalarını şekillendirmiş ve farklı kültürlerin kendine özgü estetiklerine katkıda bulunmuştur (Cardon, 2007; Alegbe ve Uthman, 2024).

Hypericum, gizemli ve şeytan çıkarıcı özelliklerine inanıldığı için Yunanca “hyper” (aşırı) ve “eikon” (görüntü) kelimelerinden türetilmiştir. Yaygın İngilizce isimleri Goutweed, Klamath weed ve St. John’s wort’tur. St. John’s wort, birçok Avrupa ülkesinde 24 Haziran’daki St. John Günü civarında çiçek açtığı için ortaya çıkmış olabilecek en popüler isimdir. İskandinav/Baltık ülkelerinde ise çiçeklenme daha geç gerçekleşmektedir (Radușienė, 2005).

Bu bitkinin (popüler Romen folklorunda “Kumlu Ebediyen”, “Cüce Ebediyen”, “Ölümsüz” ve “Siminoc” olarak da bilinmektedir) farmakolojik profili son zamanlarda araştırıldığı söylenmiştir (Les ve ark., 2017; Dănilă-Guidea ve ark. 2022).

Helichrysum, zamanın cilt üzerindeki etkilerine meydan okuma yeteneğiyle ünlüdür ve bu nedenle Fransızların ona Immortale adını verdiği bildirilmiştir (Bajrami ve ark., 2024).

Helichrysum arenarium L., Asteraceae familyasına ait 600 farklı *Helichrysum* cinsinin en yaygın tüketilen bitkilerinden biridir (Akaberi ve ark., 2019; Ivanović ve ark., 2021).

Bu bitki çok yıllık bir rizom bitkisidir. 30 cm’ye kadar dik dallanan gövdelere, gri yünlü yapraklara ve yoğun şemsiye biçimli salkımlar halinde dizilmiş çiçek başlarına sahiptir. İnvolukrumları sarı veya turuncudur. Çiçeklenme zamanı: Temmuz-Ekim. Kumlu Everlasting, güneşli yerlerde, kumlu topraklarda, terk edilmiş tarlalarda, yol kenarlarında ve kuru ormanlarda ve çalılıklarda yetişmektedir (Rutkowski, 2004; Sawilska, 2008).

Helichrysum arenarium için en uygun ekosistemler, düz veya dalgalı arazilerdeki ormanlar ve çayırlardır. Bu sonsuz bitkinin daha geniş yetiştirme alanları, Litvanya’nın Kuzeybatısında, Baltık Denizi çevresinde ve Güney ve Doğu kesimlerinde bilinmektedir. Bitkinin doğal kaynakları ülkede oldukça sınırlıdır ve bu sonsuz bitkinin vahşi yaşam alanlarından toplanması, popülasyon için ciddi zararlara (yoksullaşmaya veya hatta neslinin tükenmesine) neden olabilmektedir (Judžentienė ark., 2019).

Bu bitkinin kurutulmuş generatif sürgünleri buketler ve Paskalya süslemeleri için kullanıldığı bildirilmiştir (Sawilska ve ark., 2010).

Bu çalışmada, altın otu çiçeği (*Helichrysum arenarium*) bitkisine ait ekstraktlarından elde edilen boyar maddesi ve farklı miktarlarda şap maddesi kullanılarak hazırlanmış çözeltilerin sarıçam

odunu yüzeylerine uygulanması sonrasında elde edilen renk parametrelerinde değişimler incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) odununa ait olan deney örnekleri 90 mm x 90 mm x 15 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde iklimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976). Buna ek olarak boyama işleminde altın otu çiçeği (*Helichrysum arenarium*) ve mordanlama işlemlerinde ise şap maddesi kullanılmıştır.

Deneyel tasarımı: Kontrol deney örneği (herhangi bir yüzey işlemi yok) ve boyalı örnekler: 1 gr altın otu çiçeği (*Helichrysum arenarium*) bitkisi ekstraktına sahip 50 ml su mordanlı boyalı deney örnekleri ile 1 gr altın otu çiçeği bitkisi ekstraktına sahip 50 ml su mordanlı (1, 1.5, 2 ve 2.5 gr) deney örnekleri.

Uygulama öncesi ve sonrası yüzey renk değişimleri, bir renk cihazı ve ASTM D 2244-3 (2007) standardı ile belirlenmiştir. ΔC^* parametresi renk doygunluğundaki farkı, ΔH^* ise ton veya gölge farklılığını ifade etmektedir (Lange, 1999). Toplam renk farkları aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{işlem görmüş}}) - (C^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (1)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (2)$$

$$h^0 = \arctan(b^*/a^*) \quad (3)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{işlem görmüş}}) - (a^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (5)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (6)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{işlem görmüş}}) - (L^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{işlem görmüş}}) - (b^*_{\text{işlem görmemiş}}) \quad (8)$$

Çizelge 1’de Jirouš ve Ljuljka, (1999)’ya göre renk değişim aralığı hakkında ve Δa^* , ΔL^* , Δb^* ve ΔC^* değerleri için (Lange, 1999) bazı önemli bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1. Renk parametreleri ile ilgili önemli bilgiler

ΔL^* , Δa^* , Δb^* ve ΔC^* (Lange, 1999)	Parametre	Pozitif durumda		Negatif durumda
	Δb^*	Referansa göre daha sarı		Referansa göre daha mavi
	Δa^*	Referansa göre daha kırmızı		Referansa göre daha yeşil
	ΔC^*	Referansa göre, daha net ve daha parlak		Mat, referansa göre daha bulanık
	ΔL^*	Referansa göre daha açık		Referansa göre daha koyu
Jirouš ve Ljuljka, (1999) renk aralığı	ΔE^* aralığı	Renk değişim tahmini	ΔE^* aralığı	Renk değişim tahmini
	< 0.20	Anlaşılamaz	3.00 - 6.00	Çok belirgin
	0.20 - 0.50	Çok hafif	6.00 - 12.00	Yoğun
	0.50 - 1.50	Hafif	> 12.00	Çok yoğun
	1.50 - 3.00	Belirgin		

Çalışmada kullanılan ekipmana ve malzemelere ait görüntüler Şekil 1’de gösterilmektedir.



CIELAB renk uzayının şematik gösterimi (Cheung, 2016)

Şekil 1. Çalışmada kullanılan ekipmana ve malzemelere ait görüntüler

Bir istatistik programının kullanılması ile standart sapma, varyans analizleri, en düşük ve en yüksek ölçümlere ait veriler, % değişim oranları ortalamalar, ve homojenlik grupları belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Sadece boyasız ve mordansız boyalı uygulamalar üzerinde ölçülen renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Bütün renk parametrelerinde boyama uygulaması anlamlı olarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sadece boyasız ve mordansız boyalı uygulamalar üzerinde ölçülen renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	p≤0.05 (*: Anlamlı)
Boyama Uygulaması	L^*	12.450	1	12.450	978.379	0.000*
	a^*	15.576	1	15.576	184.244	0.000*
	b^*	149.276	1	149.276	978.741	0.000*
	C^*	162.792	1	162.792	1190.224	0.000*
	h^0	4.646	1	4.646	8.714	0.009*
Hata	L^*	0.229	18	0.013		
	a^*	1.522	18	0.085		
	b^*	2.745	18	0.153		
	C^*	2.462	18	0.137		
	h^0	9.598	18	0.533		
Toplam	L^*	121019.693	20			
	a^*	755.575	20			

Düzeltilmiş Toplam	b^*	12340.981	20			
	C^*	13086.749	20			
	h^0	116097.329	20			
	L^*	12.679	19			
	a^*	17.098	19			
	b^*	152.022	19			
	C^*	165.254	19			
	h^0	14.244	19			

Sadece boyasız ve mordansız boyalı uygulamalar üzerinde renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Yapılan uygulamalar ile bütün deney örneklerinde C^* , b^* ve L^* değerlerinde artışlar tespit edilirken, h^0 ve a^* değerlerinde azalışlar elde edilmiştir. L^* ve h^0 değerlerinde en yüksek sonuçlar ile a^* , b^* ve C^* değerlerinde en düşük sonuçlar kontrol deney örnekleri üzerinde tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Sadece boyasız ve mordansız boyalı uygulamalar üzerinde renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

Test	Boyama Uygulaması	Orta-lama	Değişim Oranı (%)	HG	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
L^*	Yok	78.57	↓2.00	A*	0.14	78.42	78.82	0.18
	Var	77.00		B**	0.08	76.89	77.11	0.10
a^*	Yok	5.19	↑34.10	B**	0.27	4.70	5.57	5.29
	Var	6.96		A*	0.31	6.40	7.50	4.40
b^*	Yok	21.96	↑24.86	B**	0.45	20.86	22.47	2.06
	Var	27.42		A*	0.32	26.86	27.93	1.15
C^*	Yok	22.57	↑25.25	B**	0.44	21.58	23.06	1.93
	Var	28.27		A*	0.29	27.89	28.78	1.02
h^0	Yok	76.67	↓1.27	A*	0.78	75.21	77.91	1.01
	Var	75.70		B**	0.68	74.39	76.77	0.90
L^* : Işıklılık, b^* : Sarı renk tonu, a^* : Kırmızı renk tonu, C^* : Kroma, h^0 : Ton açısı, HG: Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç, Ölçüm Sayısı: 10								

Sadece boyalı deney örnekleri üzerinde renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4’de gösterilmektedir. Bütün renk parametrelerinde mordan maddesi miktarı anlamlı olarak belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Sadece boyalı deney örnekleri üzerinde renk parametrelerine ait varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$p \leq 0.05$ (*: Anlamlı)
Mordan Maddesi Miktarı	L^*	28.355	4	7.089	283.592	0.000*
	a^*	42.050	4	10.513	218.989	0.000*
	b^*	168.419	4	42.105	597.618	0.000*
	C^*	133.785	4	33.446	520.410	0.000*
	h^0	281.763	4	70.441	358.026	0.000*
Hata	L^*	1.125	45	0.025		
	a^*	2.160	45	0.048		
	b^*	3.170	45	0.070		
	C^*	2.892	45	0.064		
	h^0	8.854	45	0.197		
Toplam	L^*	306204.515	50			
	a^*	1446.697	50			
	b^*	47560.479	50			
	C^*	48995.432	50			

	h^0	321110.341	50			
Düzeltilmiş Toplam	L^*	29.480	49			
	a^*	44.211	49			
	b^*	171.589	49			
	C^*	136.677	49			
	h^0	290.616	49			

Sadece boyalı (mordanlı ve mordansız) deney örnekleri üzerinde renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Çizelge 5’de gösterilmiştir. Yapılan uygulamalar ile bütün deney örneklerinde C^* , b^* , h^0 ve L^* değerlerinde artışlar görülürken, a^* değerlerinde azalışlar tespit edilmiştir. L^* , b^* , C^* ve h^0 değerlerinde en düşük sonuçlar kontrol deney örnekler üzerinde tespit edilmiştir. a^* değerlerinde yüksek sonuçlarda kontrol deney örneklerinde bulunmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Sadece boyalı (mordanlı ve mordansız) deney örnekleri üzerinde renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

Test	Mordan Miktarı (gr)	Ortalama	Değişim Oranı (%)	HG	Standart Sapma	Minimum	Maksimum	Varyasyon Katsayısı
L^*	0.0	77.00	-	E**	0.08	76.89	77.11	0.10
	1.0	77.87	↑1.13	D	0.04	77.80	77.93	0.05
	1.5	78.80	↑2.34	B	0.13	78.56	78.99	0.16
	2.0	79.12	↑2.75	A*	0.08	78.97	79.24	0.10
	2.5	78.49	↑1.94	C	0.31	78.05	78.84	0.39
a^*	0.0	6.96	-	A*	0.31	6.40	7.50	4.40
	1.0	5.59	↓19.68	B	0.18	5.33	5.86	3.14
	1.5	4.41	↓36.64	D**	0.25	4.00	4.76	5.74
	2.0	4.75	↓31.75	C	0.18	4.39	4.96	3.85
	2.5	4.78	↓31.32	C	0.13	4.59	5.04	2.82
b^*	0.0	27.42	-	D**	0.32	26.86	27.93	1.15
	1.0	30.23	↑10.25	C	0.25	29.86	30.64	0.84
	1.5	31.96	↑16.56	B	0.30	31.52	32.50	0.94
	2.0	32.29	↑17.76	A*	0.17	31.97	32.49	0.53
	2.5	32.03	↑16.81	B	0.26	31.67	32.44	0.82
C^*	0.0	28.27	-	D**	0.29	27.89	28.78	1.02
	1.0	30.74	↑8.74	C	0.22	30.43	31.11	0.73
	1.5	32.26	↑14.11	B	0.29	31.83	32.83	0.91
	2.0	32.64	↑15.46	A*	0.18	32.29	32.84	0.54
	2.5	32.39	↑14.57	B	0.27	32.00	32.80	0.82
h^0	0.0	75.70	-	D**	0.68	74.39	76.77	0.90
	1.0	79.52	↑5.05	C	0.40	78.89	80.05	0.50
	1.5	82.14	↑8.51	A*	0.46	81.41	82.86	0.56
	2.0	81.63	↑7.83	B	0.31	81.25	82.26	0.38
	2.5	81.51	↑7.68	B	0.23	81.06	81.79	0.28
L*: Işıklılık, b*: Sarı renk tonu, a*: Kırmızı renk tonu, C*: Kroma, h ⁰ : Ton açısı, HG: Homojenlik Grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç, Ölçüm Sayısı: 10								

Bütün deney örneklerine (boyasız, şap katılmamış boyalı ve şap katılmış boyalı) ait görüntüler ve toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Çizelge 6’da verilmiştir. Bütün uygulamalar ile deney örneklerinde Δb^* değerleri (referansa göre daha sarı) pozitif ve ΔC^* değerleri (referansa göre, daha net ve daha parlak) pozitif olarak elde edilmiştir. Δa^* değerleri şap maddesinin katılmadığı altın otu çiçeği ekstraktı ile boyalı deney örneklerinde pozitif (referansa göre daha kırmızı) pozitif olarak bulunurken, şap maddesi katılmış altın otu çiçeği ekstraktı ile boyalı deney örnekleri üzerinde negatif (referansa göre daha yeşil) olarak elde edilmiştir. ΔL^* değerleri şap maddesi katılmış altın otu çiçeği ekstraktı ile boyalı deney

örnekleri üzerinde pozitif (referansa göre daha açık) olarak elde edilirken, şap maddesinin katılmadığı altın otu çiçeği ekstraktı ile boyalı deney örneklerinde negatif (referansa göre daha koyu) olarak tespit edilmiştir. ΔE^* değerleri şap maddesinin 0.0 gr kullanılması ile 5.95, şap maddesinin 1.0 gr kullanılması ile 3.25, şap maddesinin 1.5 gr kullanılması ile 5.51, şap maddesinin 2.0 gr kullanılması ile 5.76 ve şap maddesinin 2.5 gr kullanılması ile 5.32 olarak elde edilmiştir. Bu değerlerin, materyal ve metot bölümünde verilen renk kriteri (Jirouš ve Ljuljka, 1999) çizelgesine göre “çok belirgin (3.00 - 6.00)” şeklinde kriterine denk geldiği belirlenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 6. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Bitki Ekstraktı Uygulaması	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk kriteri (Jirouš ve Ljuljka, 1999)
Şap 0.0 gr	-1.58	1.77	5.46	5.71	0.64	5.95	Çok belirgin (3.00 - 6.00)
Şap 1.0 gr	0.87	-1.37	2.81	2.47	1.92	3.25	
Şap 1.5 gr	1.80	-2.55	4.54	3.99	3.34	5.51	
Şap 2.0 gr	2.13	-2.21	4.87	4.37	3.09	5.76	
Şap 2.5 gr	1.49	-2.18	4.61	4.12	3.02	5.32	
Bütün deney örneklerine ait görüntüler							
							
Hiçbir işlemin yapılmadığı deney örneği				Altın otu çiçeği bitkisi ekstraktı ve 0.0 gr şap ile boyalı deney örneği			
							
Altın otu çiçeği bitkisi ekstraktı ve 1.0 gr şap ile boyalı deney örneği				Altın otu çiçeği bitkisi ekstraktı ve 1.5 gr şap ile boyalı deney örneği			
							
Altın otu çiçeği bitkisi ekstraktı ve 2.0 gr şap ile boyalı deney örneği				Altın otu çiçeği bitkisi ekstraktı ve 2.5 gr şap ile boyalı deney örneği			

4. Sonuçlar

Çalışmada kullanılan altın otu çiçeği bitkisine ait ekstraktı ile farklı miktarlarda kullanılan şap maddesinin sarıçam odununa ait renk parametrelerini değiştirdiği belirlenmiştir.

Kaynaklar

- Acquaviva, S., D'Anna, E., De Giorgi, M.L., Della Patria, A., and Baraldi, P., (2010). Physical and chemical investigations on natural dyes. *Applied Physics A*, 100(3): 823-828. DOI: 10.1007/s00339-010-5676-2.
- Ahsan, R., Masood, A., Sherwani, R., and Khushbakhat, H., (2020). Extraction and application of natural dyes on natural fibers: an eco-friendly perspective, *Review of Education, Administration & LAW*, 3(1): 63-75. DOI: 10.47067/real.v3i1.22.
- Akaberi, M., Sahebkar, A., Azizi, N., and Emami, S.A., (2019). Everlasting flowers: Phytochemistry and pharmacology of the genus *Helichrysum*, *Industrial Crops and Products*, 138: 111471. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111471.
- Alegbe, E.O., and Uthman, T.O., (2024). A review of history, properties, classification, applications and challenges of natural and synthetic dyes, *Heliyon*, 10(13): e33646. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e33646.
- ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bajrami, D.A., Marinkovski, M., Kuvendziev, S., Demiri, S., and Lisichkov, K., (2024). Bioactive profiling and extraction methods of *Helichrysum arenarium*: unveiling medicinal potencial for therapeutic applications, *Herba Polonica*, 70(2): 46-56. DOI: 10.5604/01.3001.0054.7272.
- Cardon, D., (2007). Natural Dyes–Sources, Tradition, Technology, *Science*, 553-557.
- Cheung, T.L.V., (2016). Uniform Color Spaces, Chen, J., Cranton, W., and Fihn, M., (2016). *Handbook of visual display technology*, Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.
- Dănăilă-Guidea, S.M., Eremia, M.C., Dinu, L. D., and Miu, D.M., (2022). *Helichrysum arenarium*: From cultivation to application. *Applied Sciences*, 12(20): 10241. DOI: 10.3390/app122010241.
- ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.
- Ivanović, M., Albrecht, A., Krajnc, P., Vovk, I., and Razboršek, M.I., (2021). Sustainable ultrasound-assisted extraction of valuable phenolics from inflorescences of *Helichrysum arenarium* L. using natural deep eutectic solvents, *Industrial Crops and Products*, 160: 113102. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.113102.
- Jirouš, R.V., and Ljuljka, B., (1999). Boja drva i njezine promjene prilikom izlaganja atmosferskim utjecajima, *Drvena Industrija*, 50(1): 31-39.
- Judžentienė, A., Charkova, T., and Misiūnas, A., (2019). Chemical composition of the essential oils from *Helichrysum arenarium* (L.) plants growing in Lithuanian forests, *Journal of Essential Oil Research*, 31(4): 305-311. DOI: 10.1080/10412905.2019.1572550.
- Lange, D.R., (1999). *Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e*. DR Lange: New York, NY, USA.
- Les, F., Venditti, A., Cásedas, G., Frezza, C., Guiso, M., Sciubba, F., Serafini, M., Bianco, A., Valero, M.S., and López, V., (2017). Everlasting flower (*Helichrysum stoechas* Moench) as a potential source of bioactive molecules with antiproliferative, antioxidant, antidiabetic and neuroprotective properties, *Industrial Crops and Products*, 108: 295-302. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.06.043.
- Radušienė, J., (2005). *Helichrysum arenarium* (L.) Moench (Everlasting). *Spice-and Medicinal Plants in the Nordic and Baltic Countries*, 55.
- Rutkowski L., (2004). Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski Niżowej [A key to identification of vascular plants of lowland Poland], Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa: 814.



Sawilska, A.K., (2008). Dynamics of *Helichrysum arenarium* (L.) Moench populations growing in fallow field on barren soil, Ecological Questions, 9: 93-101. DOI: 10.2478/v10090-009-0024-x.

Sawilska, A.K., Jendzejczak, E., and Kieliszewska-Rokicka, B., (2010). Influence of mycorrhiza on the growth and flowering in cultivated plants of *Helichrysum arenarium* (L.) moench(asteraceae). Polish Journal of Ecology, 58(4): 627-634.

Singh, R., and Srivastava, S., (2015). Exploration of flower based natural dyes-a review. Research Journal of Recent Sciences. ISSN: 2277, 2502.

Torchani, A., Saadaoui, S., Gharbi, R., and Fathallah, M., (2015). Sensitized solar cells based on natural dyes, Current Applied Physics, 15(3): 307-312. DOI: 10.1016/j.cap.2015.01.003.

SİSTEMATİK TASARIM UYGULAMASINDA ŞARTNAME OLUŞTURMA: KURAMSAL ÇERÇEVE, METODOLOJİ VE UYGULAMA ÖNERİLERİ

MUSTAFA BOZDEMİR

Kırıkkale Üniversitesi, mustafabozdemir@kku.edu.tr - ORCID ID [0000-0002-9332-2054](https://orcid.org/0000-0002-9332-2054)

ÖZET

Sistematiik tasarım, tasarım sürecini keşif-bilgiye dayalı, tekrarlanabilir ve izlenebilir adımlara dönüştürmeyi hedefler. Bu yaklaşımda şartname, tasarımın temsili sözleşmesi olarak işlev görmektedir.

Sistematiik tasarım modeli, mühendislikte ve ürün geliştirmede kullanılan planlı, aşamalı ve mantıksal bir problem çözme yaklaşımıdır. Amaç; tasarım sürecinde rastlantısallığı azaltmak, teknik ve ekonomik açıdan en uygun çözümü sağlamasıdır. Bu model, özellikle mekanik sistemlerin, makinelerin veya karmaşık teknik ürünlerin geliştirilmesinde tercih edilir.

Yöntemsel yaklaşımı sunarak tasarım süreci belirli adımlara ayırarak, tasarım girdi ve çıktılarına tanımlanır. Sistematiik tasarım yöntemi içerisinde rasyonel karar verme yöntemleri eklenerek analiz ve değerlendirme yapılabilir. Sistematiik tasarım modelin her aşamasında alınan kararlar, gerekçeler ve alternatifler kayıt altına alınarak belgelendirilebilir. Şartname aşamasında tasarım ekibi, paydaşlar ve üretim/entegrasyon tarafları arasındaki beklentileri yazılı, ölçülebilir ve doğrulanabilir biçimde ortaya koyabilir. Sistematiik tasarım yaklaşımı bağlamında şartname oluşturmanın metodolojik temellerini, adım adım uygulama sürecini ve pratik araçlarını ele alabilmektedir. Bunun nedeni kavramsal belirsizlikleri azaltan, gereksinimleri netleştiren ve tasarım kararlarını izlenebilir hâle getiren bir şartname oluşturmaktır.

Bu çalışmada, önce şartnamenin rolü ve özellikleri incelenir; ardından ihtiyaç analizi, fonksiyonel çözümleme, performans kriterleri, kısıtlar ve doğrulama yöntemlerini içeren bir çerçeve önerilir. Bu sayede sistematiik tasarım işleminin hızlı, doğru, tekrar edilebilir ve raporlanabilir bir yapıda karar vermesi sağlanabilir.

Anahtar Kelimeler: Sistematiik tasarım, şartname aşaması, karar verme

SİSTEMATİK TASARIM VE EKONOMİ İLİŞKİSİNİN İNCELENMESİ

MUSTAFA BOZDEMİR

Kırıkkale Üniversitesi, mustafabozdemir@kku.edu.tr - ORCID ID [0000-0002-9332-2054](https://orcid.org/0000-0002-9332-2054)

ÖZET

Tasarım, belirli bir ihtiyacı karşılamak veya bir problemi çözmek amacıyla fikirlerin sistematik bir biçimde planlanması ve somut bir ürüne dönüştürülmesi sürecidir. Bu süreç, yaratıcılık ile bilimsel yöntemin birleştiği bir alan olarak; estetik, işlevsellik, ekonomi ve ergonomi gibi unsurları dengeli bir biçimde ele alır. Tasarım, sadece bir şekil veya form oluşturmak değil; aynı zamanda kullanıcı gereksinimlerini anlamak, teknik olanakları değerlendirmek ve yenilikçi çözümler geliştirmeyi de kapsar. Dolayısıyla tasarım, mühendislikten sanata kadar uzanan geniş bir disiplin yelpazesinde, insan yaşamını kolaylaştıran ve çevreyle uyumlu ürünler ortaya koymayı hedefleyen bir faaliyettir.

Tasarım yaklaşımı ile ekonomik çıktılar arasındaki ilişkileri kavramsal ve uygulamalı düzeyde incelemeyi amaçlayan çalışmalar önem taşımaktadır. Tasarım işlemin formüle edildiği ve model yapılarının üzerine kurguladığı sistematik tasarım yöntemleri bulunmaktadır. Tasarım, yalnızca estetik bir faaliyet değil; üretkenlik, yenilik ve rekabet gücünü doğrudan etkileyen stratejik bir ekonomik girdidir. Tasarımın firmalar ve endüstriler için nasıl değer yarattığını; ürün yaşam döngüsü, maliyet yapısı, marka algısı ve tüketici tercihlerindeki etkilerini teorik ve ampirik kanıtlarla incelenir. Tasarım odaklı inovasyonun Ar-Ge yatırımlarını tamamlayıcı rolü, pazar farklılaştırmaya katkısı ve fiyatlandırma gücünü artırma potansiyeli vurgulanır. Ayrıca, yerel tasarım ekosistemlerinin (tasarım okulları, atölyeler, tasarım hizmetleri) bölgesel ekonomik büyümeye katkısı; tasarım politikalarının KOBİ'lere, ihracata ve istihdama etkileri örneklerle gösterilir.

Bu çalışmada, sistematik tasarım faaliyetleri sırasında ekonomik verilerin şartname aşamasında nasıl kullanılabileceğine yönelik bir işlem uygulamalı olarak gösterilecektir. Geliştirilen model ve uygulama programı sayesinde tasarım işlemi daha fonksiyonel hale getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sistematik tasarım, ekonomik etki, şartname aşaması



STABILITY STUDY OF METHEMOGLOBIN IN STORED BLOOD SAMPLE.

Saadi Fatima Zohra

Ahmed Ben Bella University 1.Oran; Algeria

saadizahraatoxico@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3801-8228>

ABSTRACT

Introduction

The instability of methemoglobin (MetHb) after blood collection is well known, as its level can increase or decrease depending on storage conditions. For this reason, current recommendations suggest measuring MetHb within one hour of sampling. However, this requirement is often difficult to meet in practice due to technical and logistical constraints. This study aimed to determine the most suitable storage conditions for blood samples intended for delayed MetHb analysis.

Materials and Methods

Thirty-five heparinized blood samples were analyzed immediately after collection (Day 0) using the modified Evelyn–Malloy (EVMm) spectrophotometric method. Each sample was then divided and stored under different conditions: whole blood and hemolysate were kept either at 4–8 °C or –60 °C. After 24 hours (Day 1), all samples were reanalyzed following the same procedure.

Results

At 4–8 °C, mean MetHb levels increased slightly from $0.50 \pm 0.03\%$ to $0.57 \pm 0.06\%$ for whole blood and from $0.50 \pm 0.03\%$ to $1.11 \pm 0.14\%$ for hemolysates. In contrast, samples stored at –60 °C showed marked instability, with mean MetHb values reaching $4.85 \pm 0.23\%$ for whole blood and $2.04 \pm 0.23\%$ for hemolysates after 24 hours.

Discussion and Conclusion

The findings indicate that methemoglobin (MetHb) levels are highly unstable at freezing temperatures (–60 °C). While storage at 4–8 °C can reduce degradation, it does not completely prevent it. Therefore, MetHb quantification should be conducted as soon as possible after collection to ensure reliable results in toxicology laboratories. Further exploration of other storage conditions is recommended.

Keywords: Methemoglobin, Stability, Storage Temperature, Evelyn-Malloy Method



NOVEL CATALYTIC MATERIALS FOR ENHANCED HYDROGEN PRODUCTION

Dr. Hassan Al-Harazi

Assis. Prof. Dr. Layla Abdulrahman

Dr. Amal Saeed

Department of Chemistry, Sana'a University, Yemen

Abstract

Hydrogen stands at the forefront of sustainable energy carriers, with its clean combustion and versatility promising enormous global impact in the transition away from fossil fuels. Recent years have witnessed significant advances in catalytic material design to boost hydrogen production efficiency, particularly in water splitting and hydrocarbon reforming. This research examines the synthesis, structural characterization, and catalytic performance of a novel series of transition-metal-based nanocomposites developed through sol-gel and electrospinning techniques. Key design strategies include promoting nanostructuring for increased surface area, doping with rare earth elements to optimize electronic properties, and developing hybrid interfaces to enhance catalytic activity at moderate temperatures. The study presents a thorough comparative analysis of the catalytic efficiency of these materials for hydrogen generation via water electrolysis and methane steam reforming. The materials were characterized by X-ray diffraction, electron microscopy, and BET surface analysis, and catalytic testing was performed under varying conditions to determine turnover frequencies, stability, and selectivity. Results demonstrate that tailored nanocomposites with controlled morphology and optimal doping significantly outperform traditional catalysts, yielding higher hydrogen purity and lower energy input for activation. Furthermore, the new catalysts exhibited excellent durability across multiple cycles, essential for practical applications. Mechanistic investigations via spectroscopic methods and density functional theory calculations reveal that the improved activity stems from enhanced charge transfer pathways and stabilized active sites. The study concludes by discussing implications for large-scale implementation, potential cost reductions, and the crucial role of such materials in the future hydrogen economy. Strategic recommendations for further development include harnessing machine learning for predictive catalyst design and integrating catalysts into modular reactor systems.

Keywords: hydrogen production, catalytic materials, nanocomposites, water splitting, energy sustainability



APPLICATION OF GREEN SYNTHESIS TECHNIQUES IN THE PREPARATION OF ORGANIC COMPOUNDS

Assoc. Prof. Dr. Omar Al-Maktari

Dr. Amal Saeed

Department of Chemistry, University of Aden, Yemen

Abstract

Green chemistry principles have revolutionized the field of organic synthesis by enabling environmentally friendly methodologies that minimize hazardous waste and energy consumption. This study evaluates the effectiveness of various green synthesis techniques, including solvent-free reactions, microwave-assisted synthesis, and biocatalysis, in preparing a broad range of organic compounds of pharmaceutical and industrial relevance. By comparing the yield, purity, and environmental footprint of target molecules produced by these techniques versus conventional methods, the research aims to establish robust metrics for assessing sustainability. The project employs advanced analytical techniques such as NMR, GC-MS, and HPLC to characterize products and monitor reaction kinetics, as well as evaluating the scalability of each method. The findings highlight the remarkable efficiency of microwave irradiation in accelerating bond formation, the selectivity improvements achieved with enzyme catalysis, and the broad applicability of solvent-free protocols for synthesizing esters, amides, and heterocycles. Case studies include the preparation of natural product analogues, active pharmaceutical ingredients, and fine chemicals. Life cycle analysis and atom economy calculations confirm substantial reductions in energy usage, reagent waste, and toxic by-products. The paper discusses the key barriers to industrial adoption, such as process optimization for large-scale reactions and the availability of renewable feedstocks. Recommendations for future research include the integration of continuous flow reactors and the exploration of novel, biodegradable catalysis systems. This work underscores the transformative potential of green synthesis for safer, more efficient, and sustainable organic chemistry.

Keywords: green chemistry, organic synthesis, microwave-assisted reactions, biocatalysis, sustainability



MOLECULAR MODELING AND SIMULATION OF ENZYME ACTIVITY IN BIOCHEMICAL PROCESSES

Prof. Dr. Sonia Qureshi

Dr. Imran Shabbir

Department of Chemistry, Quaid-i-Azam University, Pakistan

Abstract

This study investigates the use of molecular modeling and simulation techniques to elucidate enzyme activity in complex biochemical processes, with a particular focus on bridging the gap between atomistic behavior and experimentally observed kinetic parameters. Enzymes are highly dynamic catalysts whose function depends not only on the static structure of the active site but also on large-scale conformational motions, solvent interactions, and transient intermediate states. Conventional experimental approaches, while essential, often provide only indirect or time-averaged information about these microscopic events. In this work, a combined computational framework is employed, integrating molecular docking, classical molecular dynamics simulations, and hybrid quantum mechanics/molecular mechanics (QM/MM) calculations. The model systems include hydrolases and oxidoreductases of pharmacological relevance, and substrates of varying size and polarity are examined to assess how binding modes influence catalytic efficiency. Molecular dynamics trajectories are analyzed to identify key hydrogen-bond networks, salt bridges, and hydrophobic contacts that stabilize substrate binding and transition states. Free-energy profiles along reaction coordinates are obtained using enhanced sampling techniques, allowing estimation of activation barriers that can be directly compared with experimental rate constants. The results demonstrate that subtle rearrangements of side chains in the active site, as well as remote allosteric changes, can significantly modulate enzyme activity, providing mechanistic explanations for mutational effects observed in vitro. Furthermore, solvent reorganization and local dielectric variations are shown to contribute to transition-state stabilization, highlighting the importance of environment-sensitive modeling. The study concludes that carefully validated molecular modeling protocols can serve not only as interpretive tools for experimental data, but also as predictive platforms for rational enzyme engineering, inhibitor design, and the optimization of biocatalysts used in industrial and biomedical applications.

Keywords: molecular modeling, enzyme activity, molecular dynamics, QM/MM, free-energy profiling



ELECTROCHEMICAL METHODS FOR POLYMER MODIFICATION IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

Dr. Sara Khan

Assoc. Prof. Dr. Fahad Usman

Department of Chemistry, COMSATS University Islamabad, Pakistan

Abstract

This paper presents a comprehensive investigation of electrochemical methods as versatile tools for the modification of polymeric materials used in industrial chemistry. Traditional routes for tailoring polymer properties often rely on harsh chemical reagents, multistep syntheses, and energy-intensive conditions, which can generate significant waste and limit fine control over surface and bulk functionality. In contrast, electrochemical techniques allow spatially and temporally controlled reactions at electrode interfaces, enabling precise tuning of polymer composition, conductivity, and mechanical properties. The study focuses on three major approaches: electro-grafting of functional monomers, redox-mediated crosslinking, and electrochemical doping of intrinsically conducting polymers. Model systems include commodity polymers and specialty materials relevant to coatings, membranes, sensors, and energy-storage devices. Cyclic voltammetry, chronoamperometry, and electrochemical impedance spectroscopy are combined with spectroscopic and microscopic characterization to correlate applied potential, charge passed, and reaction time with the extent and uniformity of modification. Results show that electro-initiated grafting can introduce functional groups—such as carboxyl, amine, and sulfonate moieties—at controllable densities, significantly altering surface wettability and adhesion without compromising bulk integrity. Redox-triggered crosslinking strategies are demonstrated to enhance thermal and chemical resistance, while maintaining flexibility essential for industrial processing. In the case of conducting polymers, optimized electrochemical doping protocols lead to improved charge transport and environmental stability, which are critical for applications in antistatic coatings and flexible electronics. The study also evaluates scalability, discussing flow-cell configurations and continuous processing schemes compatible with industrial manufacturing. Overall, the findings underscore electrochemical polymer modification as a green, efficient, and highly adaptable methodology that can reduce reliance on hazardous chemicals and open new pathways for advanced material design.

Keywords: electrochemical modification, polymers, industrial chemistry, surface functionalization, conducting polymers



ADVANCES IN NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION

Prof. Dr. Angelica Cruz

Dr. Josefina Tomas

Department of Chemistry, University of the Philippines Diliman, Philippines

Abstract

This work reviews and extends recent advances in the design, synthesis, and application of nanostructured materials for environmental remediation, focusing on water and soil decontamination. Environmental pollution by heavy metals, persistent organic pollutants, dyes, and emerging contaminants such as pharmaceuticals poses an escalating threat to ecosystems and human health. Conventional remediation technologies often suffer from high cost, low selectivity, and secondary waste generation. Nanostructured materials, by contrast, offer unique advantages rooted in their high surface area, tunable porosity, and customizable surface chemistry. The study investigates several classes of nanomaterials, including metal-oxide nanoparticles, carbon-based nanostructures, and hybrid organic-inorganic frameworks. Synthetic strategies such as solvothermal methods, template-assisted growth, and green synthesis using plant extracts are compared in terms of scalability, environmental footprint, and control over morphology. Batch and flow-through experiments are conducted to assess adsorption capacity, reaction kinetics, and regeneration efficiency for contaminants like arsenic, lead, textile dyes, and antibiotic residues. Results reveal that functionalized nanomaterials—with tailored ligands, dopants, or surface coatings—exhibit markedly enhanced selectivity and faster removal rates than their bulk counterparts. Photocatalytic systems based on doped TiO_2 and composite nanostructures are shown to achieve near-complete mineralization of certain organics under simulated solar light, illustrating the potential for synergy between adsorption and advanced oxidation processes. The study also addresses environmental and health concerns related to nanoparticle release, emphasizing the importance of immobilization strategies (e.g., nanomaterials embedded in polymer matrices or supported on inert substrates) to prevent secondary pollution. Life cycle considerations and cost analyses suggest that with appropriate design and deployment, nanostructured materials can become central components of sustainable remediation technologies in low- and middle-income settings.

Keywords: nanostructured materials, environmental remediation, adsorption, photocatalysis, water treatment



SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE METAL COMPLEXES FOR MEDICINAL CHEMISTRY

Assis. Prof. Dr. Enrico Ramos

Dr. Mikaela Jimenez

Department of Chemistry, Ateneo de Manila University, Philippines

Abstract

This study focuses on the synthesis, structural characterization, and biological evaluation of a new series of bioactive metal complexes designed for potential application in medicinal chemistry. Transition-metal complexes offer a rich platform for drug development because of their versatile coordination geometries, redox properties, and capacity to interact with biomolecular targets through multiple binding modes. Building on these advantages, ligands derived from Schiff bases and heterocyclic scaffolds were designed to incorporate pharmacophoric groups capable of hydrogen bonding, π - π stacking, and metal-mediated activation of reactive oxygen species. Complexes of copper(II), nickel(II), and ruthenium(II) were prepared under mild conditions and purified via recrystallization and chromatographic techniques. Comprehensive characterization by elemental analysis, IR, UV-Vis, NMR (where applicable), mass spectrometry, and single-crystal X-ray diffraction confirmed the expected coordination environments and provided insight into structure-property relationships. In vitro assays were conducted to assess cytotoxicity against selected cancer cell lines, antimicrobial activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria, and antioxidant capacity using standard radical-scavenging tests. Several complexes demonstrated promising cytotoxic effects at micromolar concentrations, outperforming corresponding free ligands and showing selective action relative to non-cancerous cells. Mechanistic studies, including DNA-binding and cleavage experiments, suggested that intercalation and oxidative damage pathways contribute to biological activity in specific systems. The complexes also exhibited notable antibacterial effects, particularly against resistant strains, pointing to potential dual anticancer and antimicrobial applications. Preliminary stability studies in physiological media indicated that the most active complexes retain structural integrity over relevant timescales, an important prerequisite for therapeutic use. The paper concludes that rationally designed metal complexes remain a powerful yet underexplored resource in drug discovery and advocates further optimization through systematic ligand modification and in vivo evaluation.

Keywords: metal complexes, medicinal chemistry, cytotoxicity, DNA interaction, antimicrobial activity



PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS OF METAL OXIDES IN SOLAR ENERGY CONVERSION

Dr. Nguyen Thi Mai

Prof. Dr. Pham Van Dong

Assoc. Prof. Dr. Le Quang Minh

Department of Chemistry, Vietnam National University, Vietnam

Abstract

This paper provides an in-depth investigation of metal-oxide-based photocatalysts for solar energy conversion, with particular emphasis on hydrogen generation and CO₂ reduction. Metal oxides such as TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, and complex perovskite-type materials have attracted sustained attention due to their chemical stability, abundance, and compatibility with aqueous environments. However, their practical use is often hindered by wide band gaps, rapid electron–hole recombination, and limited visible-light absorption. To address these limitations, this study explores a range of modification strategies, including cation and anion doping, formation of heterojunctions, surface sensitization with molecular dyes, and coupling with plasmonic nanoparticles. Synthesized materials are characterized using X-ray diffraction, diffuse-reflectance spectroscopy, electron microscopy, and photoluminescence measurements to correlate structure, light-harvesting properties, and charge-carrier dynamics. Photocatalytic performance is evaluated in slurry and immobilized systems under simulated solar light, quantifying hydrogen evolution rates from sacrificial aqueous solutions and CO₂ reduction to fuels such as CO and CH₄. The results demonstrate that carefully engineered heterostructures—combining complementary band alignments and optimized interfaces—significantly enhance charge separation and catalytic turnover compared to single-component oxides. Doped systems exhibit extended visible-light response, while plasmonic components contribute to local field enhancement and hot-carrier injection. Stability tests over multiple cycles show that robust surface passivation and appropriate co-catalysts are crucial for long-term performance. The study discusses scalability issues, including catalyst immobilization on low-cost substrates and integration into photoelectrochemical cells. Overall, the findings underscore metal-oxide photocatalysts as key players in sustainable solar-to-chemical energy conversion and highlight future research directions in band-structure engineering and reactor design.

Keywords: photocatalysis, metal oxides, solar energy conversion, hydrogen evolution, CO₂ reduction



CHEMICAL KINETICS OF NOVEL ORGANIC REACTIONS UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Dr. Tran Van Hao

Department of Chemistry, Hanoi University of Science, Vietnam

Abstract

This work investigates the chemical kinetics of selected organic reactions conducted under microwave irradiation, with the aim of clarifying whether observed rate enhancements arise from purely thermal effects or from specific microwave–matter interactions. Microwave-assisted organic synthesis has gained considerable popularity due to drastically reduced reaction times, improved yields, and cleaner product profiles; however, the mechanistic basis of these advantages remains a subject of debate. A series of model reactions, including nucleophilic substitutions, cyclizations, and condensation processes, were selected for systematic kinetic study. Reactions were performed in both conventional oil-bath conditions and controlled microwave reactors, ensuring equivalent bulk temperatures and comparable mixing conditions. Time-resolved sampling combined with chromatographic quantification enabled determination of rate constants and activation parameters via Arrhenius and Eyring analyses. The results showed consistent rate acceleration under microwave irradiation beyond what would be predicted by macroscopic temperature alone in certain polar systems, particularly where strong coupling between the microwave field and dipolar reaction media was present. Dielectric measurements and temperature mapping suggested the formation of transient local hot spots and non-uniform heating at the microscopic level, which may facilitate crossing of activation barriers in specific microenvironments. Nevertheless, other examined reactions displayed kinetics fully explainable by rapid, homogeneous heating. The study concludes that microwave effects on reaction rates are system-dependent and may involve a combination of enhanced thermal transfer and localized field-induced phenomena. These insights have practical implications for reactor design, scale-up strategies, and the selection of solvent–substrate combinations to maximize efficiency while maintaining control over selectivity and safety in microwave-assisted synthesis.

Keywords: microwave irradiation, chemical kinetics, organic reactions, activation energy, non-thermal effects



EFFICIENT POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR SMART GRID SYSTEMS

Dr. Hossein Arab

Iran University of Science and Technology, Iran

Abstract

This paper proposes and evaluates a set of efficient power management strategies for modern smart grid systems integrating high shares of renewable energy and distributed generation. The study focuses on coordinating demand response, energy storage, and distributed generation to improve reliability, reduce operational costs, and enhance grid stability under varying load and generation conditions. A hierarchical control architecture is developed, combining day-ahead optimization with real-time corrective control. At the planning level, a mixed-integer optimization model schedules generation, storage charging and discharging, and flexible loads, subject to network and reliability constraints. At the operational level, model predictive control adjusts setpoints based on updated forecasts and real-time measurements. The proposed strategies are tested on a modified medium-voltage distribution network with photovoltaic units, wind turbines, and battery storage. Simulation results show improved voltage profiles, reduced energy losses, and significant peak shaving compared to conventional operation. The analysis also examines sensitivity to forecast errors and user participation in demand response, demonstrating that even moderate participation yields substantial benefits. The paper concludes that combining optimization-based scheduling with adaptive local controllers provides a practical path toward scalable, efficient smart grid power management.

Keywords: smart grid, power management, demand response, energy storage, optimization



DEEP LEARNING METHODS FOR AUTOMATED FAULT DETECTION IN INDUSTRIAL ELECTRONICS

Dr. Shahin Enayati

Iran University of Science and Technology, Iran

Abstract

This study presents deep learning-based methods for automated fault detection and classification in industrial electronic systems operating under complex and noisy conditions. Traditional rule-based or threshold techniques often fail to capture nonlinear relationships and subtle degradation patterns in power converters, drives, and control boards. To address this, the paper develops convolutional and recurrent neural network architectures trained on time-series voltage and current measurements, as well as spectrogram representations of signal behavior during normal and faulty states. A comprehensive dataset is generated from laboratory test benches and field logs, covering common faults such as component aging, short circuits, open circuits, and intermittent connections. Data augmentation and domain adaptation techniques are employed to improve robustness across different devices and operating regimes. Experimental results indicate that the proposed models achieve high detection accuracy and early fault identification compared with conventional signal-processing approaches. The paper further discusses implementation aspects, including real-time deployment on embedded platforms, interpretability of learned features, and integration with existing condition-monitoring frameworks. The findings suggest that deep learning can significantly enhance predictive maintenance strategies, reduce downtime, and improve safety in industrial environments when carefully tailored to hardware constraints and lifecycle requirements.

Keywords: deep learning, fault detection, industrial electronics, condition monitoring, predictive maintenance



OPTIMIZATION OF SIGNAL PROCESSING IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Prof. Dr. Ahmed Al-Zubaidi

University of Baghdad, Iraq

Abstract

This paper investigates optimization techniques for signal processing in wireless sensor networks (WSNs) with stringent constraints on energy, bandwidth, and latency. The work addresses key challenges in data acquisition, compression, transmission, and fusion, aiming to extend network lifetime while maintaining reliable monitoring performance. A joint optimization framework is formulated that links sampling rates, local filtering, and adaptive compression with medium-access and routing decisions. At the node level, lightweight denoising and feature-extraction algorithms reduce redundant information before transmission, while distributed source coding schemes exploit spatial correlations among neighboring sensors. At the network level, a cross-layer strategy dynamically adjusts transmission power, channel access, and routing paths according to residual energy and application quality-of-service targets. The framework is evaluated through simulations and a small-scale experimental WSN deployment for environmental monitoring. Results demonstrate substantial reductions in energy consumption and packet loss, alongside improved estimation accuracy at the sink compared with baseline schemes. The paper concludes that co-designing signal processing and communication protocols is essential for future large-scale, long-lived WSNs, especially in remote or harsh environments.

Keywords: wireless sensor networks, signal processing, energy efficiency, data compression, cross-layer optimization

AI-ENABLED IOT DEVICES FOR REMOTE HEALTHCARE MONITORING

Assis. Prof. Dr. Rana Jamil

University of Basrah, Iraq

Abstract

This study explores the design and evaluation of AI-enabled Internet of Things (IoT) devices for continuous remote healthcare monitoring of patients with chronic conditions. The proposed system integrates wearable and ambient sensors, low-power edge devices, and cloud-based analytics to capture physiological signals such as heart rate, blood oxygen saturation, and activity patterns. On-device machine-learning models perform initial anomaly detection and data reduction, transmitting only relevant events or compressed features to the cloud to conserve bandwidth and power. In the cloud, more complex predictive models assess risk trends and generate alerts for healthcare providers and caregivers. A pilot deployment involving patients with cardiovascular and respiratory diseases demonstrates the feasibility and clinical value of the system. Quantitative results show improved early detection of abnormal episodes and reduced false alarms compared with threshold-based monitoring, while qualitative feedback highlights increased patient reassurance and perceived quality of care. The paper also addresses privacy, security, and interoperability challenges, proposing encryption and access-control mechanisms, as well as adherence to standard health data formats. The findings indicate that carefully designed AI-enabled IoT solutions can support scalable, cost-effective remote care, particularly in regions with limited access to specialized medical services.

Keywords: Internet of Things, remote healthcare, wearable sensors, edge AI, chronic disease monitoring



HIGH-PERFORMANCE EMBEDDED SYSTEMS FOR AUTONOMOUS ROBOTICS

Dr. Jericho L. Reyes

University of the Philippines Diliman, Philippines

Abstract

This paper presents the design and evaluation of high-performance embedded systems tailored for autonomous robotic platforms operating in real-time and resource-constrained environments. The work focuses on integrating perception, localization, planning, and control workloads onto heterogeneous embedded architectures that combine multi-core CPUs, GPUs, and specialized accelerators. A modular middleware is developed to schedule tasks, manage data flows, and meet timing requirements under varying computational loads. Case studies using mobile robots and unmanned ground vehicles demonstrate the performance gains achieved by offloading vision and simultaneous localization and mapping (SLAM) algorithms to hardware accelerators while keeping high-level decision-making on general-purpose cores. Benchmarking results show significant reductions in latency and energy per inference, enabling more frequent sensor updates and smoother motion control. The paper also investigates fault-tolerance and safety mechanisms, including watchdog modules and redundancy strategies, to ensure reliable operation in dynamic and partially unknown environments. The findings suggest practical guidelines for co-designing robotic software stacks and embedded hardware, supporting the deployment of robust autonomous systems in logistics, agriculture, and inspection tasks.

Keywords: embedded systems, autonomous robotics, real-time processing, hardware acceleration, SLAM



NANOTECHNOLOGY APPROACHES TO FLEXIBLE ELECTRONIC DEVICES

Prof. Dr. Amelia Santos

De La Salle University, Philippines

Abstract

This article reviews and advances nanotechnology-based approaches for developing flexible electronic devices aimed at wearable, foldable, and conformal applications. It surveys recent progress in nanomaterials, including conductive polymers, carbon nanotubes, graphene, and metallic nanowires, that enable high electrical performance together with mechanical flexibility and durability. The paper discusses fabrication methods such as solution-based printing, transfer printing, and low-temperature deposition on polymer substrates, evaluating their compatibility with large-area manufacturing. Particular emphasis is placed on device architectures for flexible transistors, sensors, and energy-harvesting elements, and on strategies to maintain performance under repeated bending, stretching, and twisting. Experimental demonstrations of strain-tolerant conductors and pressure-sensitive sensor arrays illustrate the potential for integration into electronic skins and smart textiles. Reliability testing reveals critical failure modes related to interfacial adhesion, crack formation, and environmental degradation, guiding design improvements in encapsulation and material selection. The review concludes that nanotechnology offers a rich toolbox for engineering the next generation of flexible electronics, provided that challenges in scalability, cost, and long-term stability are addressed through interdisciplinary collaboration between materials scientists, device engineers, and system designers.

Keywords: flexible electronics, nanomaterials, graphene, printed devices, wearable systems



ROBUST WIRELESS COMMUNICATION IN INDUSTRIAL AUTOMATION

Dr. Alexandru Porumb

University Politehnica of Bucharest, Romania

Abstract

This paper investigates robust wireless communication solutions for industrial automation environments characterized by metallic structures, electromagnetic interference, and strict real-time constraints. The study evaluates combinations of physical-layer techniques, medium-access protocols, and network topologies to support reliable and low-latency data exchange between controllers, sensors, and actuators. Channel measurements in representative factory settings are used to model fading, interference, and packet error behavior for different frequency bands and antenna configurations. Building on these models, the paper proposes a hybrid communication architecture that integrates diversity schemes, adaptive modulation and coding, and time-synchronized mesh networking. Simulation and hardware-in-the-loop experiments demonstrate significant improvements in packet delivery ratio and latency compared with conventional wireless LAN deployments, even under high interference and node mobility. The paper also addresses integration with existing industrial fieldbuses and safety requirements, outlining migration paths toward wireless-first architectures. The findings indicate that, when carefully engineered, wireless communication can meet the demanding requirements of Industry 4.0 applications, enabling more flexible, reconfigurable, and cost-effective production systems.

Keywords: industrial wireless, robust communication, real-time networking, Industry 4.0, mesh networks



INTEGRATED CIRCUIT DESIGN FOR ENERGY-EFFICIENT COMPUTING

Assis. Prof. Dr. Camelia Ionescu

Transilvania University of Brasov, Romania

Abstract

This study explores integrated circuit design methodologies aimed at achieving energy-efficient computing across a broad range of performance targets, from ultra-low-power IoT nodes to high-performance processors. The paper first reviews key sources of power consumption in modern CMOS technologies, including dynamic switching, leakage currents, and interconnect overhead, and discusses how these factors evolve in deeply scaled nodes. It then presents circuit- and architecture-level techniques such as voltage and frequency scaling, power gating, clock gating, near-threshold operation, and approximate computing. Several prototype designs are described, including a low-power microcontroller core and an application-specific accelerator for machine-learning workloads, both implemented in a modern CMOS process. Measurement results demonstrate substantial energy-per-operation reductions with acceptable performance trade-offs. The work also considers design automation flows and verification challenges arising from aggressive power-management schemes. The paper concludes that holistic co-optimization of algorithms, architectures, and circuits is essential to sustain performance growth under strict energy budgets, and outlines future research directions, including integration of emerging devices and 3D packaging technologies.

Keywords: integrated circuits, low-power design, energy-efficient computing, CMOS, power management



EPIDEMIOLOGICAL TRENDS IN CARDIOVASCULAR DISEASES AMONG ADULTS

Assis. Prof. Dr. Sara Heidari

Dr. Zahra Tavakoli

Prof. Dr. Morteza Jamshidi

Department of Cardiology, Tehran University of Medical Sciences
Iran

Abstract

This study examines recent epidemiological trends in cardiovascular diseases (CVDs) among adults, with a particular focus on changes in incidence, prevalence, mortality, and major risk factors over the past two decades. Using population-based data from national health surveys, hospital records, and mortality registries, the analysis explores patterns across age groups, sex, and urban–rural residence. The findings indicate that, despite improvements in acute care and secondary prevention that have contributed to modest declines in age-standardized mortality, the overall burden of CVDs continues to rise in absolute numbers due to population growth and ageing. Ischemic heart disease and stroke remain the leading contributors to CVD morbidity and mortality, with a noticeable shift toward earlier onset in some high-risk subgroups. The study highlights the persistent impact of modifiable risk factors, including hypertension, diabetes, dyslipidemia, obesity, and tobacco use, as well as emerging concerns related to sedentary lifestyles and dietary transitions toward high-calorie, high-sodium foods. Socioeconomic disparities are evident, with disadvantaged communities experiencing higher rates of uncontrolled risk factors and reduced access to preventive and rehabilitative services. The article argues that a comprehensive response to CVD trends requires integrated primary care–based screening, population-wide risk reduction policies, and targeted interventions for vulnerable groups. Strengthening surveillance systems and linking clinical data with public health planning are emphasized as critical for monitoring progress and guiding resource allocation.

Keywords: cardiovascular disease, epidemiology, adults, risk factors, public health



MOLECULAR DIAGNOSTICS FOR EARLY DETECTION OF BREAST CANCER

Dr. Farhad Bahrami

Department of Pathology, Shiraz University of Medical Sciences
Iran

Abstract

This article reviews recent advances in molecular diagnostics for the early detection of breast cancer and assesses their potential to improve clinical outcomes through earlier and more accurate diagnosis. Traditional imaging and histopathology, while essential, have limitations in sensitivity, specificity, and prognostic stratification, particularly in younger women and patients with dense breast tissue. The study focuses on molecular techniques such as immunohistochemistry panels, gene expression profiling, next-generation sequencing, circulating tumor DNA analysis, and liquid biopsy approaches that enable detection of malignancy-associated alterations at the genomic, transcriptomic, and proteomic levels. Evidence from clinical trials and cohort studies suggests that integrating molecular markers with conventional screening can enhance risk prediction, refine tumor subtyping, and identify patients likely to benefit from targeted therapies or intensified surveillance. The article also discusses practical challenges, including cost, laboratory infrastructure, standardization of assays, and interpretation of complex genomic data in routine practice. Ethical and policy considerations related to genetic testing, informed consent, and equitable access are examined. Overall, the review concludes that molecular diagnostics represent a critical component of precision oncology for breast cancer, but their impact on population-level outcomes will depend on careful implementation within organized screening programs, robust quality control, and sustained investment in laboratory capacity and clinician education.

Keywords: breast cancer, molecular diagnostics, early detection, gene profiling, precision oncology



IMPACT OF HEPATITIS PREVENTION PROGRAMS ON COMMUNITY HEALTH

Prof. Dr. Saad Abdullatif

Dr. Maha Al-Khalil

Department of Public Health, University of Baghdad
Iraq

Abstract

This study evaluates the impact of hepatitis prevention programs on community health indicators, focusing on viral hepatitis B and C as major contributors to chronic liver disease and hepatocellular carcinoma. The analysis encompasses vaccination initiatives, blood safety measures, infection control protocols, and public awareness campaigns implemented over the last decade in diverse urban and rural settings. Using a mixed-methods approach that combines epidemiological data with interviews of health workers and community members, the research assesses changes in incidence of acute infections, prevalence of chronic carriers, and rates of hepatitis-related complications. Results indicate that universal infant vaccination and targeted immunization of high-risk groups have substantially reduced new hepatitis B infections, while improvements in blood screening and safe injection practices have lowered iatrogenic transmission. However, persistent gaps remain in identifying and treating individuals with chronic infection, particularly in marginalized populations with limited access to testing and antiviral therapy. Stigma and low risk perception further hinder uptake of screening and preventive services. The article concludes that hepatitis prevention programs have yielded measurable health gains but must be complemented by strategies for expanded testing, linkage to care, and long-term treatment if elimination targets are to be achieved. Integrating hepatitis services into primary care and leveraging community health workers are recommended to enhance coverage and sustainability.

Keywords: hepatitis, prevention programs, community health, vaccination, screening



REHABILITATION STRATEGIES FOR TRAUMATIC BRAIN INJURY PATIENTS

Dr. Hadi Al-Bayati

Assis. Prof. Dr. Noor Jabbar

Assoc. Prof. Dr. Waleed Hassan

Department of Neurology, University of Basrah - Iraq

Abstract

This article examines evidence-based rehabilitation strategies for patients with traumatic brain injury (TBI), with an emphasis on optimizing functional recovery and quality of life across the continuum of care. TBI represents a major cause of long-term disability, affecting cognition, motor function, behavior, and psychosocial well-being. The study reviews current approaches to acute stabilization, early mobilization, and multidisciplinary rehabilitation that integrate physiotherapy, occupational therapy, speech and language therapy, neuropsychology, and social support. Special attention is given to individualized goal setting, task-specific training, and the use of standardized outcome measures to monitor progress. The role of emerging interventions—such as virtual reality-based therapies, robotics-assisted motor rehabilitation, neuromodulation, and cognitive training platforms—is critically assessed in light of available clinical trial data. Barriers to effective rehabilitation in resource-constrained settings, including limited specialized centers, workforce shortages, and fragmented post-discharge follow-up, are highlighted. The article argues that successful TBI rehabilitation requires coordinated care pathways that extend from hospital to community, active involvement of families and caregivers, and integration of vocational and psychosocial support services. Policy recommendations include developing national rehabilitation guidelines, investing in training for interdisciplinary teams, and establishing registries to track outcomes and inform quality improvement.

Keywords: traumatic brain injury, rehabilitation, neurorehabilitation, functional recovery, multidisciplinary care



TRENDS IN OBESITY AND NUTRITIONAL STATUS OF SCHOOLCHILDREN

Assis. Prof. Dr. Maria Sison

Dr. Joshua Manalac

Department of Pediatrics, University of the Philippines, Philippines

Abstract

This study examines recent trends in obesity and overall nutritional status among schoolchildren, focusing on primary and lower secondary students in diverse urban and peri-urban settings. The research was motivated by growing concern that rapid dietary transitions and sedentary lifestyles are contributing to an increased burden of childhood overweight and obesity, while undernutrition has not been fully eliminated. A cross-sectional design was employed, combining anthropometric measurements, dietary recall, and lifestyle questionnaires administered to students, parents, and school staff. Body mass index-for-age and height-for-age indicators were calculated using international reference standards to classify children as underweight, normal weight, overweight, or obese. The findings show a clear rise in the prevalence of overweight and obesity over the past decade, particularly among children attending private schools and those with higher household income. At the same time, pockets of undernutrition persist among students from low-income families, highlighting a double burden of malnutrition within the same school systems. Analysis of dietary patterns suggests high consumption of energy-dense, nutrient-poor foods and sugar-sweetened beverages, often combined with low levels of physical activity and high screen time. School food environments, including canteen offerings and nearby vendors, were identified as important drivers of unhealthy choices. The study concludes that addressing obesity trends requires comprehensive interventions targeting school policies, family practices, and community environments, including nutrition education, healthier food provision, and promotion of daily physical activity. It emphasizes the need for continued surveillance to monitor changes in children's nutritional status and evaluate the impact of public health strategies over time.

Keywords: childhood obesity, nutritional status, schoolchildren, dietary patterns, physical activity



TELEHEALTH SOLUTIONS FOR CHRONIC DISEASE MANAGEMENT IN RURAL COMMUNITIES

Prof. Dr. Angelica Cruz

Dr. Ralf Bernardo

Assis. Prof. Dr. Kristina Gomez

Department of Family Medicine, University of Santo Tomas, Philippines

Abstract

This article investigates the implementation and effectiveness of telehealth solutions for managing chronic diseases in rural communities with limited access to specialist care. Chronic conditions such as hypertension, diabetes, and chronic respiratory diseases impose a significant burden on rural health systems, where geographic isolation and workforce shortages often lead to delayed diagnosis, poor treatment adherence, and preventable complications. The study evaluates a telehealth program integrating remote consultations, digital monitoring tools, and community health worker support. A mixed-methods approach was used, combining quantitative data on clinical outcomes with qualitative interviews from patients, family physicians, nurses, and local health workers. Clinical indicators, including blood pressure, glycemic control, and medication adherence, were monitored over a 12-month period, while user experiences were explored to assess acceptability and perceived barriers. Results indicate that telehealth interventions improved continuity of care, reduced travel time and costs for patients, and enhanced communication between primary care providers and specialists. Patients reported greater confidence in self-management due to regular follow-up and timely feedback via mobile applications and video consultations. However, persistent challenges included inconsistent internet connectivity, limited digital literacy among older adults, and concerns about data privacy. Health workers emphasized the importance of training and technical support to integrate telehealth into routine practice sustainably. The study concludes that telehealth offers a promising strategy for strengthening chronic disease management in rural settings, provided that infrastructure and capacity-building needs are addressed. It recommends policy support for scaling up telehealth services and integrating them within national health information systems to ensure long-term impact and equity.

Keywords: telehealth, chronic disease management, rural health, digital health, primary care



PREVALENCE AND TREATMENT OUTCOMES OF TYPE 2 DIABETES IN URBAN ADULTS

Dr. Ekaterina Pavlenko

Prof. Dr. Ioan Georgescu

Department of Endocrinology, University of Bucharest, Romania

Abstract

This study analyzes the prevalence and treatment outcomes of type 2 diabetes among urban adults receiving care in a large metropolitan center. Rising rates of obesity, population aging, and lifestyle changes have contributed to a steady increase in diabetes incidence, making it a major public health concern. Using electronic medical records from outpatient endocrine clinics and affiliated primary care practices, the researchers conducted a retrospective cohort analysis of adults diagnosed with type 2 diabetes over a five-year period. Key variables included demographic characteristics, comorbidities, baseline glycemic control, treatment regimens, and follow-up laboratory results. The study also assessed rates of adherence to clinical guidelines for monitoring and managing complications such as nephropathy, retinopathy, and cardiovascular disease. Findings show a high prevalence of suboptimal glycemic control, particularly among patients with lower socioeconomic status and those with multiple comorbid conditions. While newer therapeutic agents and combination therapies have been increasingly prescribed, many patients remain on traditional regimens without adequate titration. Lifestyle interventions, including structured nutrition counseling and physical activity programs, were underutilized despite evidence of their effectiveness. The study highlights gaps in care continuity, patient education, and interdisciplinary collaboration, which limit the potential benefits of available treatments. It concludes that improving outcomes for urban adults with type 2 diabetes requires multifaceted strategies that integrate pharmacologic optimization, consistent guideline-based monitoring, and robust patient support for behavior change. Recommendations include expanding diabetes education services, enhancing communication between specialists and primary care providers, and strengthening community-based prevention initiatives.

Keywords: type 2 diabetes, prevalence, treatment outcomes, urban adults, guideline adherence



MENTAL HEALTH INTERVENTIONS FOR ADOLESCENTS IN SCHOOL SETTINGS

Dr. Ana Maria Popescu

Assis. Prof. Dr. Sorin Filip

Department of Psychiatry, Babes-Bolyai University, Romania

Abstract

This article evaluates the design and effectiveness of mental health interventions delivered in school settings to address anxiety, depression, and behavioral difficulties among adolescents. Schools provide a critical platform for early identification and support, yet many systems struggle with limited resources, stigma, and insufficient integration between education and health sectors. The study examines a multi-component school-based program that combines universal mental health literacy sessions, targeted group interventions for at-risk students, and referral pathways to specialized care. Using a quasi-experimental design, the researchers compared participating schools with matched control schools that provided only standard pastoral support. Outcome measures included validated self-report scales for symptoms, resilience, and school connectedness, as well as teacher ratings of behavior and academic engagement. Results demonstrate significant reductions in self-reported anxiety and depressive symptoms in the intervention group, alongside improvements in coping skills and perceived social support. Teachers noted better classroom behavior and concentration among students who received targeted interventions. Interviews with students and staff highlighted the value of normalizing conversations about mental health, although concerns remained about confidentiality and the availability of follow-up services for more severe cases. Implementation challenges included time constraints within crowded curricula, variable commitment among staff, and the need for ongoing supervision of school-based facilitators. The article concludes that school-based mental health programs can yield meaningful benefits when they are comprehensive, evidence-informed, and supported by clear links to external clinical services. It calls for policy frameworks that embed mental health promotion into educational planning and provide sustainable funding for training and evaluation.

Keywords: adolescent mental health, school-based interventions, anxiety and depression, mental health literacy, resilience



EVALUATION OF IMMUNIZATION COVERAGE AND VACCINE HESITANCY IN PEDIATRIC POPULATIONS

Dr. Amira Benmohamed

Prof. Dr. Khaled Bensalem

Assis. Prof. Dr. Nassima Chafai

Department of Pediatrics, University of Algiers, Algeria

Abstract

This study assesses immunization coverage and explores determinants of vaccine hesitancy among pediatric populations receiving care in primary health centers and pediatric clinics. Despite long-standing national immunization programs, recent reports suggest pockets of under-vaccination and delayed immunization that may undermine herd immunity and increase the risk of vaccine-preventable disease outbreaks. A mixed-methods design was adopted, combining analysis of vaccination records for children aged 0–5 years with caregiver surveys and focus group discussions. Coverage for key vaccines in the national schedule was calculated and compared with national targets and international benchmarks. Overall, the study found high coverage for core childhood vaccines; however, significant variability existed between urban and peri-urban areas, and among families with different educational and socioeconomic backgrounds. Caregiver surveys identified multiple factors associated with delayed or incomplete vaccination, including misconceptions about side effects, lack of trust in health authorities, logistical challenges in accessing clinics, and competing family responsibilities. Social media was frequently cited as a source of conflicting information, contributing to confusion and fear about vaccine safety. Health workers emphasized the pressure of heavy workloads and limited training in communication skills, which constrained their ability to address parental concerns effectively. The study concludes that maintaining high immunization coverage requires proactive strategies to counter vaccine hesitancy, including tailored health education campaigns, stronger community engagement, and improved support for front-line providers. It recommends developing context-specific communication tools, monitoring public sentiment, and integrating vaccine confidence indicators into routine surveillance systems to detect and respond to emerging concerns early.

Keywords: immunization coverage, vaccine hesitancy, pediatric populations, vaccine-preventable diseases, health communication



ADVANCED CHARACTERIZATION OF METAL MATRIX COMPOSITES FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS

Dr. Luca Moretti

University of Bologna, Italy

Prof. Dr. Francesca Romano

University of Padua, Italy

Abstract

This study presents an advanced experimental and analytical investigation of metal matrix composites (MMCs) designed for next-generation automotive components operating under demanding mechanical and thermal conditions. The work focuses on aluminum-based and magnesium-based MMCs reinforced with ceramic particulates and short fibers, characterized using a combination of microscopy, mechanical testing, and non-destructive evaluation techniques. Scanning electron microscopy and X-ray diffraction are employed to assess reinforcement distribution, interfacial bonding, and the presence of residual stresses and microstructural defects. Static tensile and compression tests, instrumented hardness measurements, and fatigue experiments are conducted to build a detailed structure–property relationship across a range of reinforcement volume fractions. In parallel, digital image correlation and acoustic emission monitoring are used to follow damage initiation and crack propagation under cyclic loading representative of automotive service conditions. The results demonstrate that optimized processing routes and tailored reinforcement architectures significantly improve yield strength, fatigue life, and damage tolerance without excessive penalties in density or manufacturability. The study also compares the performance of different MMC systems against conventional steels and light alloys currently used in chassis and powertrain components, highlighting the potential for substantial weight reduction and improved fuel efficiency. Finally, the research discusses implications for design codes, reliability assessment, and industrial scaling, emphasizing that advanced characterization is essential for the safe and economical integration of MMCs into commercial automotive platforms.

Keywords: metal matrix composites, automotive applications, mechanical characterization, fatigue behavior, microstructure



IN DEVELOPMENT OF HIGH-PERFORMANCE CERAMIC COATINGS FOR THERMAL BARRIER SYSTEMS

Assis. Prof. Dr. Davide Ferrara
Politecnico di Milano, Italy

Abstract

This work investigates the development and optimization of high-performance ceramic coatings intended for use in thermal barrier coating (TBC) systems for gas turbine and advanced internal combustion engine components. The study concentrates on zirconia-based and rare-earth-stabilized compositions, deposited by air plasma spraying and electron beam physical vapor deposition. A comprehensive characterization program is implemented to evaluate microstructure, porosity, phase stability, thermal conductivity, and thermo-mechanical behavior under realistic operating conditions. Microstructural examination using scanning electron microscopy and focused ion beam cross-sectioning reveals how process parameters control splat morphology, crack networks, and columnar structures that govern strain tolerance. Laser flash analysis is used to determine thermal diffusivity and conductivity as a function of temperature and thermal cycling, while indentation and four-point bending tests quantify fracture toughness and adhesion to metallic bond coats. Thermal shock and cyclic oxidation experiments simulate service environments to assess lifetime and spallation resistance. The results show that carefully engineered multilayer architectures with graded compositions markedly delay damage accumulation and extend coating life compared with conventional single-layer TBCs. The research further explores the potential of novel compositions with lower intrinsic thermal conductivity and improved phase stability at elevated temperatures, supporting the design of more efficient engines with higher turbine inlet temperatures. Overall, the study demonstrates that combining processing optimization with rigorous property evaluation provides a robust pathway for the design of next-generation ceramic thermal barriers.

Keywords: thermal barrier coatings, ceramic coatings, gas turbines, microstructure, thermal conductivity



INFLUENCE OF NANOSTRUCTURED SURFACES ON BIOCOMPATIBILITY OF MEDICAL IMPLANTS

Prof. Dr. Nurzhan Alimov

Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Dr. Aigerim Yeskaliyeva

Nazarbayev University, Kazakhstan

Abstract

This paper examines how engineered nanostructured surfaces influence the biocompatibility and functional performance of metallic medical implants used in orthopedics and dental applications. The study focuses on titanium and titanium-alloy substrates modified through anodization, laser texturing, and nanoparticle deposition to generate controlled nano-scale topographies and surface chemistries. Surface characterization is carried out using atomic force microscopy, scanning electron microscopy, contact angle measurements, and X-ray photoelectron spectroscopy to quantify roughness, wettability, and chemical composition. In vitro assays employing osteoblast-like and fibroblast cell lines evaluate cell adhesion, proliferation, and differentiation on different surface designs, while bacterial adhesion tests assess the potential for reducing infection risk. The findings indicate that specific ranges of nano-roughness and hydrophilicity significantly enhance early cell spreading and metabolic activity, suggesting faster and more reliable osseointegration. At the same time, certain nanostructured patterns reduce bacterial colonization compared with conventionally polished or microsandblasted surfaces, pointing to an improved balance between host integration and infection control. Complementary finite element simulations explore how enhanced interfacial bonding and tissue ingrowth may influence long-term mechanical stability under physiological loads. The study concludes that rational design of nanostructured implant surfaces provides a powerful tool to improve clinical outcomes, and highlights the need for standardized protocols to bridge in vitro results with animal models and clinical trials.

Keywords: nanostructured surfaces, biocompatibility, titanium implants, cell adhesion, antibacterial properties



MICROMECHANICAL ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED MATERIALS UNDER CYCLIC LOADING

Assis. Prof. Dr. Amir Yemeen

Kazakh-British Technical University, Kazakhstan

Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Omarov

Satbayev University, Kazakhstan

Abstract

This study presents a micromechanical investigation of functionally graded materials (FGMs) subjected to cyclic mechanical loading, with emphasis on the interaction between graded microstructures and fatigue damage mechanisms. FGMs with continuously varying composition and properties are increasingly used in aerospace, energy, and biomedical components, yet their behavior under repeated service loads remains insufficiently understood. The research combines analytical homogenization, finite element modeling, and experimental validation on graded metal–ceramic specimens produced by powder metallurgy and additive manufacturing. Microstructural characterization using optical and electron microscopy quantifies spatial gradients in reinforcement content, pore distribution, and phase morphology. These data serve as input for multi-scale models that link local stress–strain fields to crack initiation and growth across the graded region. Low-cycle and high-cycle fatigue tests are conducted with digital image correlation to map strain localization and to verify model predictions. Results show that properly designed gradients can redistribute stresses, delay crack nucleation, and deflect propagating cracks, thereby enhancing fatigue life compared with homogeneous counterparts. However, poorly controlled gradients or processing defects can create critical zones of stress concentration that accelerate failure. The study provides guidelines for optimal grading strategies and proposes design metrics that couple micromechanical criteria with manufacturing constraints. These insights support the safe and efficient implementation of FGMs in components experiencing complex cyclic load histories.

Keywords: functionally graded materials, micromechanics, cyclic loading, fatigue life, multi-scale modeling



OPTIMIZING ADDITIVE MANUFACTURING PARAMETERS FOR TITANIUM ALLOYS

Dr. Anastasia Volkova

Moscow State University, Russia

Prof. Dr. Viktor Lebedev

Saint Petersburg State University, Russia

Abstract

This paper investigates the optimization of process parameters in powder-bed fusion additive manufacturing of titanium alloys, with the objective of improving microstructural uniformity, mechanical performance, and production reliability for aerospace and biomedical components. A systematic design-of-experiments approach is applied to study the effects of laser power, scan speed, hatch spacing, and layer thickness on melt pool morphology, porosity, and residual stress development in Ti-6Al-4V specimens. Microstructure is characterized using optical microscopy, electron backscatter diffraction, and X-ray diffraction to assess grain size, texture, and phase composition as functions of processing conditions and build orientation. Mechanical behavior is evaluated through tensile, hardness, and fatigue tests, while residual stresses are quantified by X-ray and hole-drilling methods. The results reveal strong correlations between volumetric energy density and defect formation, demonstrating that relatively narrow parameter windows are required to achieve high density, fine microstructures, and favorable textures. An optimization framework based on response surface methodology identifies parameter combinations that maximize strength and fatigue resistance without sacrificing build rate. The study also addresses post-processing treatments such as stress-relief annealing and hot isostatic pressing, showing how they can mitigate process-induced defects and anisotropy. Overall, the research provides practical guidelines for parameter selection and quality control in industrial additive manufacturing of titanium alloys, facilitating broader adoption of this technology in safety-critical applications.

Keywords: additive manufacturing, titanium alloys, process optimization, microstructure, mechanical properties



IN SITU MONITORING OF PHASE TRANSFORMATIONS DURING HEAT TREATMENT OF ALUMINUM ALLOYS

Dr. Olga Antonova

Tomsk Polytechnic University, Russia

Abstract

This study focuses on in situ monitoring of phase transformations during heat treatment of age-hardenable aluminum alloys, aiming to establish a direct link between thermal history, microstructural evolution, and resulting mechanical properties. Using a combination of high-temperature X-ray diffraction, dilatometry, and differential scanning calorimetry, the research tracks precipitation, dissolution, and coarsening processes in real time under controlled heating and cooling schedules. Particular attention is given to the formation and transformation of strengthening precipitates in Al–Cu and Al–Zn–Mg systems, which govern yield strength, toughness, and fatigue performance in aerospace and transportation applications. Time-resolved diffraction patterns and thermal signals are correlated with subsequent hardness measurements and tensile tests to build a comprehensive map of process–structure–property relationships. The results highlight critical temperature and time windows where fine, coherent precipitates are stabilized, as well as regimes that promote over-aging and property degradation. In situ data also reveal subtle differences between nominally similar alloys and show how small variations in composition or prior deformation modify transformation kinetics. Based on these insights, optimized heat treatment cycles are proposed that balance strength and ductility while minimizing residual stress. The study demonstrates that in situ characterization is a powerful tool for refining industrial heat treatment practices and for designing new aluminum alloys with tailored response to thermal processing.

Keywords: aluminum alloys, heat treatment, in situ monitoring, phase transformations, precipitation hardening



EFFECTS OF REINFORCEMENT TYPOLOGY ON POLYMER COMPOSITE STRENGTH

Dr. Anil Kumar

Indian Institute of Technology Delhi, India

Assoc. Prof. Dr. Ritu Sharma

Jawaharlal Nehru University, India

Abstract

This paper systematically evaluates how reinforcement typology influences the strength and failure behavior of polymer matrix composites intended for lightweight structural applications. The study compares composites reinforced with short fibers, continuous unidirectional fibers, woven fabrics, and particulate fillers embedded in thermoset and thermoplastic matrices. Standardized processing routes, including compression molding and resin transfer molding, are employed to ensure comparable fiber volume fractions and minimize manufacturing variability. Mechanical testing under tension, compression, flexure, and impact loading provides a broad dataset on stiffness, ultimate strength, and energy absorption. Fractographic analysis using scanning electron microscopy identifies dominant failure mechanisms such as fiber pull-out, matrix cracking, delamination, and interfacial debonding for each reinforcement type. The results show that continuous fiber and woven fabric composites deliver superior specific strength and stiffness, but may be more sensitive to manufacturing defects and notch effects, whereas short-fiber and particulate composites offer improved damage tolerance and design flexibility at the cost of reduced peak properties. The study also explores hybrid architectures that combine different reinforcement typologies within a single laminate to achieve tailored performance. By linking reinforcement geometry, orientation, and distribution to macroscopic strength and toughness, the research provides practical guidelines for selecting reinforcement strategies aligned with target loading conditions, manufacturing constraints, and cost considerations.

Keywords: polymer composites, reinforcement typology, mechanical strength, failure mechanisms, hybrid composites



NOVEL SYNTHESIS ROUTES FOR METAL-OXIDE NANOPARTICLES IN CATALYSIS

Dr. Sathya Raman

Indian Institute of Science Bangalore, India

Prof. Dr. Manoj Rao

Indian Institute of Technology Bombay, India

Abstract

This study explores novel synthesis routes for metal-oxide nanoparticles tailored for heterogeneous catalysis in energy and environmental applications. The work focuses on transition-metal oxides and mixed oxides prepared via solution combustion, microemulsion, and solvothermal methods that enable precise control over particle size, morphology, and surface chemistry. Structural and textural properties are characterized using X-ray diffraction, transmission electron microscopy, nitrogen physisorption, and temperature-programmed desorption to evaluate crystallinity, surface area, pore structure, and acid–base sites. The catalytic performance of the synthesized nanoparticles is assessed in benchmark reactions such as CO oxidation, photocatalytic degradation of organic pollutants, and hydrogen production from reforming processes. Comparisons with conventionally prepared catalysts reveal that the new routes produce materials with higher dispersion of active sites, enhanced redox properties, and improved stability under reaction conditions. The study also investigates the role of dopants and support interactions in tuning electronic structure and catalytic activity. Kinetic analyses and recyclability tests demonstrate that these nanostructured oxides can achieve high turnover frequencies while maintaining performance over multiple reaction cycles. The findings highlight the potential of rationally designed synthesis strategies to accelerate catalyst development and to address pressing challenges in clean energy conversion and pollution control.

Keywords: metal-oxide nanoparticles, catalysis, nanomaterials synthesis, heterogeneous catalysis, energy applications



EFFECTS OF DIETARY VITAMINS ON REPRODUCTIVE HEALTH IN DAIRY CATTLE

Dr. Marc Lefebvre

University of Lyon - France

Prof. Dr. Céline Durand

University of Lyon - France

Abstract

This study investigates the effects of dietary vitamin supplementation on reproductive health in high-yielding dairy cattle, with particular emphasis on fertility performance, metabolic status, and postpartum recovery. The research focuses on fat-soluble vitamins A, D, and E, as well as selected B-complex vitamins, which are known to play key roles in ovarian function, immune competence, and energy metabolism. A cohort of multiparous Holstein cows was followed from the dry period through 150 days in milk, and animals were assigned to different feeding regimes with controlled variations in vitamin content while keeping energy and protein levels constant. Reproductive outcomes such as days to first ovulation, conception rate at first service, incidence of retained placenta, and early embryonic loss were recorded. Blood metabolites and endocrine profiles were monitored to evaluate relationships between vitamin status, oxidative stress markers, and reproductive hormones. The results indicate that cows receiving optimized vitamin supplementation showed shorter intervals to first estrus, higher conception rates, and reduced prevalence of periparturient reproductive disorders. Improvements were particularly evident in herds with previously marginal vitamin supply or higher metabolic stress. The study also highlights potential risks of oversupplementation, underscoring the need for balanced ration formulation based on forage quality, production level, and health status. Overall, the findings support the integration of targeted vitamin management into herd reproductive programs to enhance efficiency, animal welfare, and economic returns.

Keywords: dairy cattle, reproductive health, vitamins, fertility, transition period



MOLECULAR DIAGNOSTICS IN INFECTIOUS DISEASES OF FARM ANIMALS

Dr. Lucille Fournier

University of Nantes

Assis. Prof. Dr. Vincent Martin

University of Nantes - France

Abstract

This paper provides an overview of current molecular diagnostic techniques used in the detection and monitoring of infectious diseases in farm animals, focusing on their practical applications, advantages, and limitations in field and laboratory settings. Conventional diagnostic approaches such as culture, serology, and microscopy, while valuable, often lack the speed and sensitivity required for early intervention and effective disease control. In contrast, molecular methods including conventional and real-time PCR, multiplex PCR, loop-mediated isothermal amplification (LAMP), and next-generation sequencing (NGS) allow for rapid, highly specific identification of pathogens in clinical and environmental samples. The review examines how these tools are applied to major bacterial, viral, and protozoal infections in cattle, small ruminants, and pigs, with case examples illustrating their use in outbreak investigation, vaccination monitoring, and surveillance programs. Particular emphasis is placed on assay validation, sample handling, and interpretation of results in the context of subclinical infections and mixed-pathogen situations. The paper also discusses the increasing availability of portable, point-of-care molecular platforms that enable testing closer to the farm, thereby shortening response times and improving decision-making. Economic and training considerations, quality assurance, and integration with traditional diagnostics are evaluated to provide a realistic picture of implementation in different production systems. The authors conclude that molecular diagnostics, when appropriately selected and interpreted, significantly strengthen veterinary diagnostic capacity, but must be embedded in comprehensive health management strategies to realize their full potential.

Keywords: molecular diagnostics, infectious diseases, farm animals, PCR, surveillance



PREVALENCE AND CONTROL OF PARASITIC INFECTIONS IN LIVESTOCK OF OMAN

Prof. Dr. Salim Al-Harthy

Sultan Qaboos University- Oman

Dr. Amal Al-Siyabi

Sultan Qaboos University- Oman

Abstract

This study assesses the prevalence, risk factors, and control strategies for major parasitic infections affecting livestock in Oman, with a focus on small ruminants, camels, and cattle raised under arid and semi-arid conditions. Cross-sectional surveys were conducted in multiple regions, combining fecal examinations, blood sampling, and clinical assessments to identify gastrointestinal nematodes, coccidia, hemoparasites, and ectoparasites. The data were analyzed in relation to management practices, grazing patterns, seasonal variations, and deworming routines. Results show that gastrointestinal nematodes and coccidiosis are highly prevalent in small ruminants, especially in communal grazing systems, while tick-borne hemoparasitic infections are more common in cattle and camels in certain coastal and mountainous areas. Despite widespread use of anthelmintics, evidence of suboptimal dosing, irregular treatment schedules, and emerging drug resistance was detected. The study also documents limited adoption of integrated parasite management strategies such as targeted selective treatment, pasture rotation, and nutritional support. Based on these findings, the authors propose region-specific control programs that combine improved diagnostics, rational anthelmintic use, strategic grazing management, and farmer education. Particular emphasis is placed on surveillance for resistance and the need for extension services to translate scientific recommendations into practical on-farm interventions. The study concludes that sustainable parasite control in Oman requires a coordinated approach involving veterinarians, producers, and authorities to protect animal health, productivity, and livelihood security.

Keywords: parasitic infections, livestock, Oman, anthelmintic resistance, control strategies



RESPIRATORY DISEASE MONITORING IN CAMELS: RECENT ADVANCES

Assis. Prof. Dr. Tariq Al-Hashmi

University of Nizwa - Oman

Dr. Fawzia Al-Kindi

University of Nizwa- Oman

Abstract

This review summarizes recent advances in the monitoring, diagnosis, and management of respiratory diseases in dromedary camels, a species of growing economic and cultural importance in many arid regions. Camel respiratory disorders, including bacterial pneumonia, viral infections, and mycotic conditions, have significant implications for productivity, welfare, and zoonotic risk. The paper first outlines the main etiological agents and predisposing factors such as environmental stress, transport, co-morbidities, and husbandry conditions. It then discusses innovations in clinical and field-based monitoring, including digital stethoscopy, thoracic ultrasonography, and non-invasive biomarkers of inflammation and respiratory function. Laboratory diagnostics are examined with emphasis on molecular assays, serological profiles, and culture techniques adapted to camel physiology and sample types. The review also highlights the role of surveillance systems in early detection of emerging respiratory pathogens, exemplified by coronavirus infections and cross-species transmission scenarios. Practical considerations for herd-level health management, vaccination strategies where available, and antimicrobial stewardship are evaluated, recognizing the realities of mixed-species systems and limited diagnostic infrastructure in some regions. The authors argue that integrating advanced monitoring tools with traditional clinical expertise can markedly improve the detection and control of respiratory disease in camels. Ultimately, sustained investment in research, training, and regionally appropriate guidelines is needed to support evidence-based respiratory health programs in camel-rearing communities.

Keywords: camels, respiratory disease, monitoring, diagnostics, herd health



NANOTECHNOLOGY IN VETERINARY DRUG DELIVERY SYSTEMS IN INDIA

Dr. Ramesh Singh

Indian Veterinary Research Institute

Prof. Dr. Priya Kumar

Indian Veterinary Research Institute - India

Abstract

This paper explores the emerging role of nanotechnology in veterinary drug delivery systems in India, focusing on how nanoscale carriers can enhance therapeutic efficacy, safety, and compliance in farm and companion animals. Conventional formulations often face challenges such as poor solubility, rapid degradation, variable absorption, and the need for frequent dosing, which can limit treatment success and increase labor costs. Nanocarriers—including polymeric nanoparticles, liposomes, solid lipid nanoparticles, and nanoemulsions—offer strategies for controlled release, targeted delivery, and improved bioavailability of antimicrobials, antiparasitics, vaccines, and anti-inflammatory drugs. The review summarizes key experimental and applied studies from Indian research institutions, highlighting successful examples where nanotechnology has reduced required doses, mitigated adverse effects, or enabled alternative administration routes such as transdermal or intranasal delivery. Regulatory and safety considerations, including toxicity assessment and environmental impact, are examined in light of international guidelines and national frameworks. The paper also identifies economic and infrastructural barriers to widespread adoption, such as manufacturing costs, stability during storage in tropical climates, and limited awareness among field veterinarians. The authors conclude that while nanotechnology is not a universal solution, it represents a promising tool for addressing persistent therapeutic challenges in Indian veterinary practice. Strategic collaboration between researchers, industry, and regulatory agencies will be critical to translating proof-of-concept formulations into accessible products that support animal health and sustainable production.

Keywords: nanotechnology, veterinary medicine, drug delivery, India, nanoparticles



GENOMIC SELECTION FOR DISEASE RESISTANCE IN POULTRY

Dr. Meera Gupta

Kerala Veterinary and Animal Sciences University

Assis. Prof. Dr. Arun Patil

Kerala Veterinary and Animal Sciences University - India

Abstract

This article reviews the application of genomic selection to improve disease resistance in commercial and indigenous poultry populations. Traditional breeding for health traits has been constrained by low heritability, difficulties in accurate phenotyping, and antagonistic relationships with production traits. Advances in high-density genotyping, whole-genome sequencing, and statistical models for genomic prediction now enable more precise selection based on genomic estimated breeding values (GEBVs) that capture the combined effects of many loci. The review focuses on resistance to key infectious diseases such as Newcastle disease, avian influenza, coccidiosis, and bacterial enteric disorders, summarizing known quantitative trait loci, candidate genes, and immune response markers. The authors discuss design of reference populations, challenges of genotype-by-environment interaction, and the importance of maintaining genetic diversity. Case studies illustrate how genomic data have been integrated into breeding programs to enhance robustness without compromising growth and egg production. Ethical and practical considerations, including the complementarity of genomic selection with vaccination, biosecurity, and management, are evaluated. The paper concludes that genomic selection is a powerful component of holistic health strategies in poultry, particularly in regions facing high disease pressure and limited access to advanced therapeutics, and calls for broader investment in local genomic resources and capacity building.

Keywords: genomic selection, poultry, disease resistance, GEBV, animal breeding



ZOONOTIC DISEASE SURVEILLANCE AND EPIDEMIOLOGY IN GEORGIA

Dr. Giorgi Mchedlishvili

Tbilisi State University- Georgia

Prof. Dr. Nino Beridze

Tbilisi State University - Georgia

Abstract

This paper examines the current state of zoonotic disease surveillance and epidemiology in Georgia, a country at the crossroads of Europe and Asia with diverse ecosystems and livestock systems. Zoonoses such as brucellosis, anthrax, rabies, and leishmaniasis pose ongoing threats to both human and animal health, particularly in rural areas where close contact with animals and limited access to veterinary and medical services are common. The study reviews national surveillance structures, data flows between veterinary and public health authorities, and laboratory capacities for pathogen detection. Through analysis of surveillance reports, outbreak investigations, and stakeholder interviews, the authors identify strengths such as improved laboratory networking and international collaborations, alongside weaknesses including underreporting, fragmented databases, and insufficient integration of One Health principles. The paper highlights the importance of risk-based surveillance, community engagement, and targeted vaccination programs in high-risk regions. It also addresses the challenges of monitoring wildlife reservoirs and cross-border disease movement. The authors argue that building a resilient zoonotic surveillance system in Georgia requires sustained political commitment, investment in workforce training, and interoperable information systems linking veterinary, medical, and environmental sectors. Such improvements would enhance early detection, response, and long-term control of zoonotic diseases, ultimately protecting public health and supporting agricultural development.

Keywords: zoonoses, surveillance, Georgia, epidemiology, One Health



ANTIMICROBIAL STEWARDSHIP STRATEGIES IN VETERINARY HOSPITALS

Assis. Prof. Dr. Eka Chikvaidze

University of Georgia- Georgia

Dr. Tamar Tsiklauri

Georgian Agrarian University- Georgia

Prof. Dr. Davit Tsintsadze

Georgian Agrarian University- Georgia

Abstract

This article explores the design and implementation of antimicrobial stewardship (AMS) strategies in veterinary hospitals, focusing on small-animal and mixed-practice facilities. Rising levels of antimicrobial resistance (AMR) in pathogens of both animals and humans have prompted calls for more judicious use of antimicrobials across all sectors. The study synthesizes evidence on key components of successful AMS programs, including formulary restrictions, treatment guidelines, diagnostic support, prescription auditing, and client education. Drawing on experiences from veterinary hospitals in Georgia and international best practices, the authors describe practical steps to integrate stewardship into routine clinical workflows without compromising animal welfare. Particular emphasis is placed on the role of culture and susceptibility testing, differentiation between prophylactic and therapeutic use, and decision-making under diagnostic uncertainty. Barriers such as limited laboratory access, economic pressures, and entrenched prescribing habits are critically examined. The paper also addresses the importance of interdisciplinary collaboration, linking veterinary AMS initiatives with national AMR action plans and human healthcare programs under a One Health framework. The authors conclude that while resource constraints present real challenges, even incremental AMS measures—such as standardized dosing protocols and regular review of antimicrobial choices—can meaningfully reduce unnecessary use and contribute to preserving drug efficacy for future generations.

Keywords: antimicrobial stewardship, veterinary hospitals, antimicrobial resistance, One Health, prescribing practices



NOVEL APPROACHES TO ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN PHARMACEUTICAL THERAPIES

Dr. Elena Sokolova

Kaliningrad State Technical University, Russia

Prof. Dr. Ivan Petrov

Kaliningrad State Technical University, Russia

Assoc. Prof. Dr. Sergei Volk

Kaliningrad State Technical University, Russia

Dr. Tatiana Morozova

Kaliningrad State Technical University, Russia

Abstract

This abstract presents an overview of emerging pharmaceutical strategies designed to address the global crisis of antimicrobial resistance (AMR), with a focus on therapeutic innovation rather than incremental modification of existing drugs. The discussion begins by outlining the limitations of conventional antibiotics, including rapid resistance development, horizontal gene transfer among pathogens, and the collapse of treatment options for multidrug-resistant infections in clinical practice. It then highlights several promising approaches under investigation, such as antibiotic–adjuvant combinations that inhibit resistance mechanisms, bacteriophage-based therapies that selectively target resistant strains, and host-directed therapies that modulate immune responses instead of directly attacking pathogens. Particular attention is given to the role of structure-based drug design, high-throughput screening, and machine-learning models in identifying new molecular scaffolds capable of overcoming known resistance pathways. The abstract also considers regulatory and translational challenges, including the difficulty of designing clinical trials for narrow-spectrum or personalized agents, and the lack of economic incentives for companies to invest in drugs reserved for last-resort use. In parallel, it stresses that stewardship programs and rapid diagnostic tools are essential to support any novel therapy, ensuring that innovative agents are deployed rationally and sustainably. Overall, the abstract argues that future success against AMR will depend on integrating multiple strategies—technological, clinical, and policy-based—within a coordinated pharmaceutical research and health-system framework, rather than expecting a single “magic bullet” solution.

Keywords: antimicrobial resistance, novel therapies, host-directed treatment, bacteriophages, drug design



NANOPARTICLE DELIVERY SYSTEMS FOR ENHANCED DRUG BIOAVAILABILITY

Dr. Sara El Omari

University of Rabat, Morocco

Prof. Dr. Rabia Bourkia

University of Rabat, Morocco

Abstract

This abstract examines the use of nanoparticle-based delivery systems as a strategy to enhance the bioavailability of drugs that suffer from poor solubility, instability, or limited permeability across biological barriers. It first outlines the main physicochemical challenges that lead to suboptimal oral or parenteral bioavailability, including rapid metabolism, efflux transporters in the gut and blood–brain barrier, and degradation in harsh gastric or enzymatic environments. Against this background, the text reviews several classes of nanocarriers—such as polymeric nanoparticles, solid lipid nanoparticles, liposomes, and nanoemulsions—and explains how their tunable size, surface charge, and composition can be engineered to improve absorption and prolong circulation time. Special attention is given to surface functionalization with ligands that enable targeted delivery to specific tissues, thereby increasing local drug concentration while reducing systemic toxicity. The abstract further discusses the importance of encapsulation efficiency, release kinetics, and colloidal stability, emphasizing that successful formulations must balance high drug loading with predictable, reproducible release profiles. Regulatory and safety considerations are also introduced, noting the need for rigorous characterization, standardized toxicity testing, and clear guidelines for scaling up manufacturing processes. Finally, the abstract argues that advances in nanomedicine, combined with in-silico modeling and imaging tools, can support rational design of delivery systems tailored to individual drugs and patient populations. By improving bioavailability and therapeutic index, nanoparticle platforms have the potential to rescue previously abandoned compounds and to optimize the clinical performance of current pharmacotherapies.

Keywords: nanomedicine, drug delivery, bioavailability, nanoparticles, targeted therapy



HERBAL MEDICINE FORMULATION AND STANDARDIZATION IN MODERN PHARMACY

Dr. Amina Chafai

Cadi Ayyad University, Morocco

Assoc. Prof. Dr. Nabil El Fassi

Cadi Ayyad University, Morocco

Prof. Dr. Laila Benhaddou

Cadi Ayyad University, Morocco

Abstract

This abstract addresses the scientific and regulatory challenges involved in transforming traditional herbal remedies into standardized pharmaceutical products with consistent quality, safety, and efficacy. It begins by noting that herbal medicines are widely used for primary health care, yet their integration into evidence-based pharmacy is often hindered by variability in plant material, extraction methods, and dosage forms. The text outlines key steps in rational phytopharmaceutical development, including botanical authentication, control of cultivation and harvesting conditions, and optimization of extraction procedures to concentrate bioactive constituents while minimizing contaminants. Analytical methods such as chromatography and spectrophotometry are highlighted as tools for establishing chemical fingerprints and quantitative markers that support batch-to-batch reproducibility. The abstract also considers the importance of pharmacological and toxicological evaluation, emphasizing that traditional use does not automatically guarantee safety, particularly when higher doses or novel delivery routes are employed. Clinical research is presented as essential for validating therapeutic claims and for defining indications, contraindications, and potential herb–drug interactions. Regulatory frameworks for herbal medicines are briefly reviewed, showing how different jurisdictions classify products as dietary supplements, traditional medicines, or full pharmaceutical preparations, with corresponding requirements for documentation and quality control. Ultimately, the abstract argues that systematic formulation and standardization can bridge the gap between ethnopharmacological knowledge and modern drug development, allowing herbal products to contribute more reliably to integrative healthcare strategies.

Keywords: herbal medicine, standardization, phytopharmaceuticals, quality control, ethnopharmacology



INNOVATIVE VACCINE DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EMERGING DISEASES

Dr. Chinedu Okafor

University of Ibadan, Nigeria

Prof. Dr. Rose Olayemi

University of Ibadan, Nigeria

Dr. John Adeyemi

University of Ibadan, Nigeria

Abstract

This abstract outlines current innovative strategies in vaccine development aimed at responding rapidly and effectively to emerging infectious diseases. It begins by describing the limitations of classical vaccine platforms, which often require lengthy development timelines and complex manufacturing processes that are poorly suited to fast-moving outbreaks. Advanced technologies such as mRNA vaccines, viral-vector platforms, and recombinant protein subunits are presented as flexible systems that can be adapted quickly once a pathogen's genetic sequence is known. The text highlights design principles for antigen selection, including the identification of conserved epitopes that elicit broad, cross-protective immune responses, and the use of structural biology to stabilize prefusion conformations of viral proteins. It also discusses the role of adjuvants and delivery systems in shaping the quality and durability of immune responses, especially in populations with weaker immunity such as the elderly or immunocompromised. The abstract emphasizes the importance of global surveillance networks, genomic sequencing, and data-sharing frameworks in feeding timely information into vaccine pipelines. Regulatory and ethical considerations—such as accelerated approval pathways, equitable distribution, and community trust—are introduced as critical factors that influence real-world impact. The authors argue that sustainable preparedness for emerging diseases depends not only on technological innovation but also on strengthening regional manufacturing capacity and public-health infrastructure, so that vaccines can be produced, distributed, and administered where they are most needed.

Keywords: vaccines, emerging diseases, mRNA platforms, immune response, global preparedness



PHARMACOGENOMICS AND ITS IMPACT ON CHRONIC DISEASE MANAGEMENT

Dr. Oluwatoyin Adebayo

University of Lagos, Nigeria

Assoc. Prof. Dr. Grace Umeh

University of Lagos, Nigeria

Dr. Abubakar Musa

University of Lagos, Nigeria

Prof. Dr. Funke Odu

University of Lagos, Nigeria

Abstract

This abstract examines how pharmacogenomics—the study of how genetic variation influences drug response—is reshaping the management of chronic diseases such as hypertension, diabetes, and depression. It begins by explaining that traditional “one-size-fits-all” prescribing often leads to variable efficacy, adverse drug reactions, and trial-and-error dose adjustments that burden both patients and healthcare systems. By contrast, pharmacogenomic testing can identify polymorphisms in drug-metabolizing enzymes, transporters, and receptors that predict response or toxicity. The text reviews key gene–drug pairs with established clinical relevance, such as variants affecting statin metabolism or antidepressant response, and describes how clinical guidelines increasingly recommend genotype-guided dosing for selected therapies. It also discusses implementation models, from reactive single-gene tests ordered after treatment failure to pre-emptive multi-gene panels integrated into electronic health records. Particular attention is given to challenges in low- and middle-income settings, including test cost, limited laboratory capacity, and under-representation of local populations in genomic databases. The abstract highlights that successful integration of pharmacogenomics into routine care requires clinician education, patient counseling, and clear reimbursement policies to avoid widening health inequities. Overall, the authors argue that, when appropriately implemented, pharmacogenomics can improve treatment outcomes, reduce adverse events, and support more efficient resource use in chronic-disease programs.

Keywords: pharmacogenomics, chronic disease, personalized medicine, drug response, genetic testing



ADVANCES IN BIOINFORMATICS FOR PHARMACEUTICAL RESEARCH AND DEVELOPMENT

Dr. Adrian Berisha

University of Prishtina, Kosovo

Prof. Dr. Lirije Shabani

University of Prishtina, Kosovo

Abstract

This abstract reviews recent advances in bioinformatics that are transforming pharmaceutical research and development across the entire drug-discovery pipeline. It explains how computational tools now support target identification, hit discovery, lead optimization, and safety assessment by integrating diverse data types, including genomics, proteomics, structural biology, and real-world clinical data. The text highlights the growing role of machine learning and artificial intelligence in predicting protein–ligand interactions, off-target effects, and pharmacokinetic properties, thereby reducing reliance on costly, time-consuming experimental screening. It also examines network-based approaches that model disease pathways and identify combination therapies or repurposing opportunities for existing drugs. The abstract underscores the importance of robust data management, interoperable databases, and reproducible workflows, noting that poor data curation can undermine even sophisticated algorithms. Regulatory agencies' increasing openness to modeling and simulation as supportive evidence for dosing recommendations and trial design is presented as a further driver of adoption. At the same time, the authors recognize challenges, including the need for explainable AI, protection of patient privacy, and skills gaps in interdisciplinary teams. They conclude that bioinformatics is no longer a niche support function but a central, strategic component of modern pharmaceutical R&D, capable of accelerating innovation while improving decision quality across development stages.

Keywords: bioinformatics, drug discovery, machine learning, pharmaceutical R&D, data integration



QUALITY CONTROL STRATEGIES FOR GENERIC MEDICINES IN REGIONAL PHARMACEUTICAL INDUSTRY

Dr. Ardian Krasniqi

University of Gjakova, Kosovo

Assoc. Prof. Dr. Burim Hoxha

University of Gjakova, Kosovo

Abstract

This abstract addresses quality-control strategies for generic medicines produced in regional pharmaceutical industries, with a focus on ensuring therapeutic equivalence and maintaining public confidence in lower-cost alternatives to brand-name drugs. It begins by outlining regulatory requirements for generics, including demonstration of bioequivalence, adherence to Good Manufacturing Practice (GMP), and compliance with pharmacopeial specifications for identity, purity, and potency. The discussion then turns to practical quality-control tools such as validated analytical methods, in-process controls, and stability testing under various climatic conditions that are particularly relevant for storage and distribution in resource-constrained settings. The authors emphasize the value of risk-based approaches that prioritize critical quality attributes and process parameters, enabling companies to allocate testing resources efficiently while still meeting stringent standards. Attention is also given to post-marketing surveillance, including routine sampling, adverse-event reporting, and collaboration with national regulatory authorities to detect and respond to substandard or falsified products. The abstract notes that regional manufacturers often face challenges such as limited access to high-end analytical equipment, variable supply-chain quality, and pressure to minimize production costs. To address these issues, it proposes strategies including shared quality-control laboratories, regional harmonization of standards, and investment in workforce training. Ultimately, the text argues that robust quality-control systems are essential not only for regulatory compliance but also for building sustainable markets in which patients, prescribers, and procurement agencies can trust generic medicines as safe, effective, and reliable options.

Keywords: generic medicines, quality control, bioequivalence, pharmaceutical industry, regulatory standards



ADVANCED MATERIALS CHARACTERIZATION FOR NEXT-GENERATION ENGINEERING APPLICATIONS

Dr. Markus Schulz

Prof. Dr. Eva Schneider

Technical University of Munich, Germany

Abstract

This paper presents a comprehensive study on advanced materials characterization techniques aimed at supporting next-generation engineering applications in sectors such as aerospace, automotive, energy, and microelectronics. The work focuses on integrating multi-scale experimental methods, including high-resolution electron microscopy, X-ray diffraction, 3D X-ray tomography, and advanced spectroscopic tools, with data-driven analysis to obtain a more complete understanding of structure–property relationships. Emphasis is placed on characterizing complex materials systems such as high-entropy alloys, ceramic matrix composites, and multifunctional polymers operating under extreme conditions of temperature, load, and corrosive environments. The study discusses how in situ and operando characterization methods enable the observation of deformation mechanisms, phase transformations, and damage evolution in real time, providing critical input for predictive modeling and digital twins. Particular attention is given to the challenges of data management and interpretation, including the need for standardized protocols and the use of machine learning to extract patterns from large experimental datasets. Case studies demonstrate how advanced characterization informs the design of lightweight yet durable components, improves reliability assessments, and accelerates materials certification processes. The paper concludes that the integration of state-of-the-art characterization with computational materials science will be essential for achieving the performance, safety, and sustainability targets required of next-generation engineering systems.

Keywords: materials characterization, advanced engineering applications, in situ techniques, structure–property relationships



AUTOMATED CONTROL SYSTEM DESIGN IN SMART MANUFACTURING PROCESSES: OPTIMIZATION AND IMPLEMENTATION

Assoc. Prof. Dr. Luisa Hoffmann
Dr. Felix Becker
RWTH Aachen University, Germany

Abstract

This study investigates the design, optimization, and implementation of automated control systems in smart manufacturing environments, with a focus on achieving higher productivity, flexibility, and energy efficiency. The paper begins by outlining the conceptual framework of Industry 4.0, highlighting the role of cyber-physical systems, industrial IoT, and real-time data analytics in transforming conventional production lines into intelligent, interconnected systems. It then examines model-based and data-driven control strategies, including model predictive control, adaptive control, and reinforcement learning approaches, to handle the nonlinear, multivariable, and stochastic nature of modern manufacturing processes. Particular emphasis is placed on the integration of sensor networks, edge computing, and cloud platforms to enable distributed decision-making and predictive maintenance. Case studies from discrete manufacturing and process industry illustrate how optimized control architectures reduce downtime, minimize waste, and improve product quality. The study also addresses practical implementation challenges, such as interoperability between legacy equipment and new control solutions, cybersecurity concerns, and the need for human-machine collaboration interfaces that support operator trust and situational awareness. The findings suggest that successful deployment of automated control systems requires not only advanced algorithms but also robust engineering of communication infrastructure, standardized data models, and continuous workforce training. The paper concludes by outlining a roadmap for gradual implementation that balances innovation with operational reliability.

Keywords: smart manufacturing, automated control, Industry 4.0, optimization, cyber-physical systems



STRUCTURAL ANALYSIS AND SEISMIC PERFORMANCE OF URBAN INFRASTRUCTURES IN ERITREA

Dr. Samson Tekeste
Assis. Prof. Dr. Fana Berhane
Asmara University, Eritrea

Abstract

This paper evaluates the structural performance and seismic resilience of critical urban infrastructures in Eritrea, with a particular focus on buildings, bridges, and lifeline systems in and around Asmara. The study begins by reviewing the regional seismicity and geotechnical conditions that influence earthquake hazard in the country. Using a combination of field surveys, structural modeling, and nonlinear dynamic analysis, the research assesses the vulnerability of existing reinforced concrete and masonry structures under scenario earthquakes representative of local seismic risk. The authors classify building typologies, identify common construction deficiencies such as inadequate reinforcement detailing and poor quality control, and examine their implications for collapse mechanisms and damage patterns. The paper also considers the impact of informal construction and aging infrastructure on urban risk levels. Results of the simulations highlight the need for retrofitting key facilities, especially schools, hospitals, and transport bridges, through measures such as jacketing, base isolation, and energy-dissipating devices. In addition, the study discusses the limitations of current design codes and proposes guidelines for updating national standards to incorporate performance-based seismic design. The authors emphasize the importance of capacity building for engineers, planners, and municipal authorities, as well as public awareness initiatives to enhance preparedness. Overall, the research provides a technical foundation for developing a national strategy to improve seismic safety and protect urban communities in Eritrea.

Keywords: seismic performance, structural analysis, urban infrastructure, Eritrea, vulnerability assessment



RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ERITREAN POWER GRIDS

Prof. Dr. Yohannes Habte

Dr. Ghedion Michael

Prof. Dr. Nebiat Mesfin

Eritrea Institute of Technology, Eritrea

Abstract

This study analyzes the technical, economic, and regulatory challenges of integrating renewable energy sources into Eritrea's power grids and proposes feasible solutions to support a sustainable energy transition. The paper begins with an overview of the country's current energy mix, grid topology, and demand patterns, highlighting the heavy reliance on imported fossil fuels and isolated diesel-based generation in rural areas. It then examines the potential of solar, wind, and small-scale hydropower resources, using resource assessment data and expansion scenarios to model their contribution to future electricity supply. Particular attention is given to grid stability issues such as voltage regulation, frequency control, and congestion that arise when variable renewable generation is connected to weak and sparsely meshed networks. The authors investigate different integration strategies, including distributed generation, microgrids, energy storage systems, and demand response programs, and evaluate their performance using techno-economic simulations. The study also discusses the role of modern forecasting methods, advanced inverter controls, and grid codes tailored to local conditions. Policy and institutional barriers, such as tariff structures, investment risks, and regulatory uncertainty, are identified as key constraints on large-scale deployment. The paper concludes that a combination of targeted grid reinforcement, pilot microgrid projects, and incremental regulatory reforms can enable Eritrea to harness its abundant renewable resources, improve energy security, and reduce greenhouse gas emissions while maintaining reliable supply.

Keywords: renewable energy integration, power grid, Eritrea, grid stability, microgrids



HIGH-PERFORMANCE POLYMER COMPOSITES FOR ADVANCED SERBIAN AUTOMOTIVE SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Milos Jovanovic

Dr. Katarina Petrovic

University of Belgrade, Serbia

Abstract

This paper investigates the design, fabrication, and characterization of high-performance polymer composites tailored for advanced automotive applications in Serbia's evolving automotive industry. Motivated by the need to reduce vehicle weight while maintaining or improving safety and durability, the study focuses on fiber-reinforced polymer systems incorporating glass, carbon, and basalt fibers in thermoset and thermoplastic matrices. Mechanical testing, including tensile, impact, and fatigue experiments, is combined with thermal and rheological analyses to assess the performance of candidate materials under service-relevant conditions. The research also examines processing routes such as resin transfer molding, compression molding, and automated tape laying to identify cost-effective manufacturing strategies compatible with local industrial capabilities. Particular emphasis is placed on evaluating crashworthiness, long-term environmental resistance, and recyclability, addressing key challenges associated with end-of-life vehicle regulations. Case studies illustrate how optimized composites can be integrated into structural components, suspension elements, and under-the-hood parts, yielding significant mass reductions compared to conventional steel designs. The paper further explores opportunities for collaboration between Serbian universities, research institutes, and automotive suppliers to accelerate technology transfer and workforce development. The findings suggest that a strategic focus on advanced composites can enhance the competitiveness of Serbian automotive systems within regional and global supply chains.

Keywords: polymer composites, automotive applications, lightweight design, Serbia, mechanical performance



DESIGN AND OPTIMIZATION OF BRIDGE STRUCTURES USING MODERN COMPUTATIONAL APPROACHES

Dr. Vuk Stevanovic
Prof. Dr. Jelena Andjelkovic
University of Novi Sad, Serbia

Abstract

This study presents a systematic approach to the design and optimization of bridge structures using modern computational techniques, including finite element analysis, topology optimization, and multi-objective optimization algorithms. The paper focuses on typical highway and railway bridges that are critical for regional connectivity and economic development. Starting from conventional preliminary design methods, the authors develop parametric models that capture key geometric, material, and load variables. These models are then used within optimization frameworks to minimize structural weight and lifecycle cost while satisfying safety, serviceability, and constructability constraints defined in relevant design codes. The research also investigates the incorporation of resilience criteria, such as robustness under accidental loads and seismic events, into the optimization process. Several case studies demonstrate how computational approaches can identify non-intuitive design solutions that achieve improved performance and material efficiency compared to traditional manual design iterations. The influence of different optimization algorithms—such as genetic algorithms and gradient-based methods—is evaluated in terms of convergence behavior and solution diversity. The paper highlights practical issues, including model validation, computational cost, and integration with building information modeling (BIM) workflows. The authors conclude that the adoption of advanced computational tools can significantly enhance the quality and sustainability of bridge design, provided that engineers receive adequate training and that software tools are carefully calibrated to reflect real-world construction practices.

Keywords: bridge design, structural optimization, finite element analysis, computational engineering, resilience



NOVEL WASTEWATER TREATMENT SOLUTIONS: IMPLEMENTATION IN EGYPTIAN INDUSTRIAL FACILITIES

Dr. Rania Mahmoud

Assis. Prof. Dr. Ahmed Said

Prof. Dr. Yasmine Hassan

Cairo University, Egypt

Abstract

This paper evaluates novel wastewater treatment solutions implemented in Egyptian industrial facilities, focusing on their effectiveness in reducing pollution loads and enabling water reuse in water-scarce regions. The study targets key industrial sectors, including textiles, food processing, petrochemicals, and fertilizers, which collectively contribute significant organic and inorganic contaminants to surface and groundwater resources. The authors review existing treatment infrastructure and identify common shortcomings such as outdated technologies, inadequate maintenance, and insufficient monitoring. They then assess the performance of advanced treatment processes—membrane bioreactors, advanced oxidation processes, constructed wetlands, and hybrid systems—implemented in pilot and full-scale projects across Egypt. Performance indicators include removal efficiencies for chemical oxygen demand, nutrients, heavy metals, and priority pollutants, as well as energy consumption, sludge production, and operational costs. Case studies demonstrate that properly designed and operated advanced systems can meet stringent discharge standards and produce effluent suitable for agricultural or industrial reuse. The paper also examines regulatory drivers, economic incentives, and institutional barriers influencing technology adoption. Stakeholder interviews reveal that successful implementation depends on robust regulatory enforcement, availability of technical expertise, and financial mechanisms that lower upfront investment risks. The authors conclude that scaling up novel wastewater treatment solutions offers a viable pathway to improving environmental quality, conserving freshwater resources, and supporting sustainable industrial growth in Egypt.

Keywords: wastewater treatment, industrial facilities, Egypt, water reuse, advanced processes



APPLICATION OF SOLAR THERMAL TECHNOLOGY FOR SUSTAINABLE AGRICULTURAL DEVELOPMENT IN EGYPT

Dr. Mohamed El-Sayed

Prof. Dr. Fatma Ismail

Assis. Prof. Dr. Tarek Ghaly

Alexandria University, Egypt

Abstract

This study investigates the application of solar thermal technologies to support sustainable agricultural development in Egypt, where water scarcity, rising energy costs, and climate change pose significant challenges to food security. The paper reviews the technical principles of solar thermal systems, including flat-plate collectors, evacuated tube collectors, and concentrated solar technologies, and discusses their suitability for various agricultural uses such as water pumping, crop drying, greenhouse heating, and desalination for irrigation. Using performance modeling and field data from demonstration projects in different climatic zones, the authors evaluate system efficiency, reliability, and economic feasibility under local conditions. Results indicate that solar thermal-powered irrigation and drying systems can substantially reduce diesel consumption and associated greenhouse gas emissions while stabilizing operating costs for farmers. The study also analyzes social and institutional factors influencing adoption, including access to finance, technical support, and awareness among smallholder farmers. Barriers such as high initial investment, limited local manufacturing capacity, and gaps in maintenance services are identified. Policy recommendations highlight the need for targeted subsidies, credit schemes, and extension programs that integrate solar technologies into broader rural development strategies. The paper concludes that solar thermal applications, when appropriately designed and supported, can play a key role in building climate-resilient and resource-efficient agricultural systems in Egypt.

Keywords: solar thermal technology, agriculture, Egypt, irrigation, sustainable development



ENERGY-EFFICIENT URBAN TRANSPORT SYSTEMS: PLANNING AND DEVELOPMENT STRATEGIES FOR EGYPTIAN CITIES

Dr. Layla Fathi

Assis. Prof. Dr. Omar Gaber

Department of Chemistry , Suez Canal University, Egypt

Abstract

This paper explores planning and development strategies for creating energy-efficient urban transport systems in Egyptian cities, with a focus on reducing congestion, emissions, and dependence on fossil fuels. The study begins by analyzing current mobility patterns in major cities such as Cairo, Alexandria, and Port Said, highlighting the dominance of private vehicles and informal transport modes, as well as the limitations of existing public transport networks. Using scenario modeling and comparative analysis with international best practices, the authors evaluate the potential impacts of interventions such as bus rapid transit corridors, electrification of bus and taxi fleets, expansion of metro and light rail systems, and improved conditions for walking and cycling. The research also considers the role of transit-oriented development and integrated land-use planning in shortening travel distances and encouraging modal shifts. Economic assessments examine lifecycle costs, energy savings, and co-benefits related to air quality and public health. Stakeholder consultations with municipal authorities, transport operators, and civil-society organizations reveal institutional fragmentation and financing constraints as major obstacles to implementation. The paper proposes a phased strategy that prioritizes cost-effective measures—such as traffic management, dedicated bus lanes, and digital fare systems—while laying the groundwork for larger infrastructure investments. It concludes that a coordinated policy framework, supported by robust data collection and citizen engagement, is essential to transform urban transport in Egypt into a more energy-efficient, equitable, and sustainable system.

Keywords: urban transport, energy efficiency, Egypt, sustainable mobility, public transport



MOLECULAR MODELING AND SIMULATION OF ENZYME ACTIVITY IN BIOCHEMICAL PROCESSES

Prof. Dr. Sonia Qureshi

Dr. Imran Shabbir

Department of Chemistry, Quaid-i-Azam University, Pakistan

Abstract

This study investigates the use of molecular modeling and simulation techniques to elucidate enzyme activity in complex biochemical processes, with a particular focus on bridging the gap between atomistic behavior and experimentally observed kinetic parameters. Enzymes are highly dynamic catalysts whose function depends not only on the static structure of the active site but also on large-scale conformational motions, solvent interactions, and transient intermediate states. Conventional experimental approaches, while essential, often provide only indirect or time-averaged information about these microscopic events. In this work, a combined computational framework is employed, integrating molecular docking, classical molecular dynamics simulations, and hybrid quantum mechanics/molecular mechanics (QM/MM) calculations. The model systems include hydrolases and oxidoreductases of pharmacological relevance, and substrates of varying size and polarity are examined to assess how binding modes influence catalytic efficiency. Molecular dynamics trajectories are analyzed to identify key hydrogen-bond networks, salt bridges, and hydrophobic contacts that stabilize substrate binding and transition states. Free-energy profiles along reaction coordinates are obtained using enhanced sampling techniques, allowing estimation of activation barriers that can be directly compared with experimental rate constants. The results demonstrate that subtle rearrangements of side chains in the active site, as well as remote allosteric changes, can significantly modulate enzyme activity, providing mechanistic explanations for mutational effects observed in vitro. Furthermore, solvent reorganization and local dielectric variations are shown to contribute to transition-state stabilization, highlighting the importance of environment-sensitive modeling. The study concludes that carefully validated molecular modeling protocols can serve not only as interpretive tools for experimental data, but also as predictive platforms for rational enzyme engineering, inhibitor design, and the optimization of biocatalysts used in industrial and biomedical applications.

Keywords: molecular modeling, enzyme activity, molecular dynamics, QM/MM, free-energy profiling



ELECTROCHEMICAL METHODS FOR POLYMER MODIFICATION IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

Dr. Sara Khan

Assoc. Prof. Dr. Fahad Usman

Department of Chemistry, COMSATS University Islamabad, Pakistan

Abstract

This paper presents a comprehensive investigation of electrochemical methods as versatile tools for the modification of polymeric materials used in industrial chemistry. Traditional routes for tailoring polymer properties often rely on harsh chemical reagents, multistep syntheses, and energy-intensive conditions, which can generate significant waste and limit fine control over surface and bulk functionality. In contrast, electrochemical techniques allow spatially and temporally controlled reactions at electrode interfaces, enabling precise tuning of polymer composition, conductivity, and mechanical properties. The study focuses on three major approaches: electro-grafting of functional monomers, redox-mediated crosslinking, and electrochemical doping of intrinsically conducting polymers. Model systems include commodity polymers and specialty materials relevant to coatings, membranes, sensors, and energy-storage devices. Cyclic voltammetry, chronoamperometry, and electrochemical impedance spectroscopy are combined with spectroscopic and microscopic characterization to correlate applied potential, charge passed, and reaction time with the extent and uniformity of modification. Results show that electro-initiated grafting can introduce functional groups—such as carboxyl, amine, and sulfonate moieties—at controllable densities, significantly altering surface wettability and adhesion without compromising bulk integrity. Redox-triggered crosslinking strategies are demonstrated to enhance thermal and chemical resistance, while maintaining flexibility essential for industrial processing. In the case of conducting polymers, optimized electrochemical doping protocols lead to improved charge transport and environmental stability, which are critical for applications in antistatic coatings and flexible electronics. The study also evaluates scalability, discussing flow-cell configurations and continuous processing schemes compatible with industrial manufacturing. Overall, the findings underscore electrochemical polymer modification as a green, efficient, and highly adaptable methodology that can reduce reliance on hazardous chemicals and open new pathways for advanced material design.

Keywords: electrochemical modification, polymers, industrial chemistry, surface functionalization, conducting polymers



ADVANCES IN NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION

Prof. Dr. Angelica Cruz

Dr. Josefina Tomas

Department of Chemistry, University of the Philippines Diliman, Philippines

Abstract

This work reviews and extends recent advances in the design, synthesis, and application of nanostructured materials for environmental remediation, focusing on water and soil decontamination. Environmental pollution by heavy metals, persistent organic pollutants, dyes, and emerging contaminants such as pharmaceuticals poses an escalating threat to ecosystems and human health. Conventional remediation technologies often suffer from high cost, low selectivity, and secondary waste generation. Nanostructured materials, by contrast, offer unique advantages rooted in their high surface area, tunable porosity, and customizable surface chemistry. The study investigates several classes of nanomaterials, including metal-oxide nanoparticles, carbon-based nanostructures, and hybrid organic–inorganic frameworks. Synthetic strategies such as solvothermal methods, template-assisted growth, and green synthesis using plant extracts are compared in terms of scalability, environmental footprint, and control over morphology. Batch and flow-through experiments are conducted to assess adsorption capacity, reaction kinetics, and regeneration efficiency for contaminants like arsenic, lead, textile dyes, and antibiotic residues. Results reveal that functionalized nanomaterials—with tailored ligands, dopants, or surface coatings—exhibit markedly enhanced selectivity and faster removal rates than their bulk counterparts. Photocatalytic systems based on doped TiO₂ and composite nanostructures are shown to achieve near-complete mineralization of certain organics under simulated solar light, illustrating the potential for synergy between adsorption and advanced oxidation processes. The study also addresses environmental and health concerns related to nanoparticle release, emphasizing the importance of immobilization strategies (e.g., nanomaterials embedded in polymer matrices or supported on inert substrates) to prevent secondary pollution. Life cycle considerations and cost analyses suggest that with appropriate design and deployment, nanostructured materials can become central components of sustainable remediation technologies in low- and middle-income settings.

Keywords: nanostructured materials, environmental remediation, adsorption, photocatalysis, water treatment



SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF BIOACTIVE METAL COMPLEXES FOR MEDICINAL CHEMISTRY

Assis. Prof. Dr. Enrico Ramos

Dr. Mikaela Jimenez

Department of Chemistry, Ateneo de Manila University, Philippines

Abstract

This study focuses on the synthesis, structural characterization, and biological evaluation of a new series of bioactive metal complexes designed for potential application in medicinal chemistry. Transition-metal complexes offer a rich platform for drug development because of their versatile coordination geometries, redox properties, and capacity to interact with biomolecular targets through multiple binding modes. Building on these advantages, ligands derived from Schiff bases and heterocyclic scaffolds were designed to incorporate pharmacophoric groups capable of hydrogen bonding, π - π stacking, and metal-mediated activation of reactive oxygen species. Complexes of copper(II), nickel(II), and ruthenium(II) were prepared under mild conditions and purified via recrystallization and chromatographic techniques. Comprehensive characterization by elemental analysis, IR, UV-Vis, NMR (where applicable), mass spectrometry, and single-crystal X-ray diffraction confirmed the expected coordination environments and provided insight into structure–property relationships. In vitro assays were conducted to assess cytotoxicity against selected cancer cell lines, antimicrobial activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria, and antioxidant capacity using standard radical-scavenging tests. Several complexes demonstrated promising cytotoxic effects at micromolar concentrations, outperforming corresponding free ligands and showing selective action relative to non-cancerous cells. Mechanistic studies, including DNA-binding and cleavage experiments, suggested that intercalation and oxidative damage pathways contribute to biological activity in specific systems. The complexes also exhibited notable antibacterial effects, particularly against resistant strains, pointing to potential dual anticancer and antimicrobial applications. Preliminary stability studies in physiological media indicated that the most active complexes retain structural integrity over relevant timescales, an important prerequisite for therapeutic use. The paper concludes that rationally designed metal complexes remain a powerful yet underexplored resource in drug discovery and advocates further optimization through systematic ligand modification and in vivo evaluation.

Keywords: metal complexes, medicinal chemistry, cytotoxicity, DNA interaction, antimicrobial activity



PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS OF METAL OXIDES IN SOLAR ENERGY CONVERSION

Dr. Nguyen Thi Mai

Prof. Dr. Pham Van Dong

Assoc. Prof. Dr. Le Quang Minh

Department of Chemistry, Vietnam National University, Vietnam

Abstract

This paper provides an in-depth investigation of metal-oxide-based photocatalysts for solar energy conversion, with particular emphasis on hydrogen generation and CO₂ reduction. Metal oxides such as TiO₂, ZnO, Fe₂O₃, and complex perovskite-type materials have attracted sustained attention due to their chemical stability, abundance, and compatibility with aqueous environments. However, their practical use is often hindered by wide band gaps, rapid electron–hole recombination, and limited visible-light absorption. To address these limitations, this study explores a range of modification strategies, including cation and anion doping, formation of heterojunctions, surface sensitization with molecular dyes, and coupling with plasmonic nanoparticles. Synthesized materials are characterized using X-ray diffraction, diffuse-reflectance spectroscopy, electron microscopy, and photoluminescence measurements to correlate structure, light-harvesting properties, and charge-carrier dynamics. Photocatalytic performance is evaluated in slurry and immobilized systems under simulated solar light, quantifying hydrogen evolution rates from sacrificial aqueous solutions and CO₂ reduction to fuels such as CO and CH₄. The results demonstrate that carefully engineered heterostructures—combining complementary band alignments and optimized interfaces—significantly enhance charge separation and catalytic turnover compared to single-component oxides. Doped systems exhibit extended visible-light response, while plasmonic components contribute to local field enhancement and hot-carrier injection. Stability tests over multiple cycles show that robust surface passivation and appropriate co-catalysts are crucial for long-term performance. The study discusses scalability issues, including catalyst immobilization on low-cost substrates and integration into photoelectrochemical cells. Overall, the findings underscore metal-oxide photocatalysts as key players in sustainable solar-to-chemical energy conversion and highlight future research directions in band-structure engineering and reactor design.

Keywords: photocatalysis, metal oxides, solar energy conversion, hydrogen evolution, CO₂ reduction



CHEMICAL KINETICS OF NOVEL ORGANIC REACTIONS UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Dr. Tran Van Hao

Department of Chemistry, Hanoi University of Science, Vietnam

Abstract

This work investigates the chemical kinetics of selected organic reactions conducted under microwave irradiation, with the aim of clarifying whether observed rate enhancements arise from purely thermal effects or from specific microwave–matter interactions. Microwave-assisted organic synthesis has gained considerable popularity due to drastically reduced reaction times, improved yields, and cleaner product profiles; however, the mechanistic basis of these advantages remains a subject of debate. A series of model reactions, including nucleophilic substitutions, cyclizations, and condensation processes, were selected for systematic kinetic study. Reactions were performed in both conventional oil-bath conditions and controlled microwave reactors, ensuring equivalent bulk temperatures and comparable mixing conditions. Time-resolved sampling combined with chromatographic quantification enabled determination of rate constants and activation parameters via Arrhenius and Eyring analyses. The results showed consistent rate acceleration under microwave irradiation beyond what would be predicted by macroscopic temperature alone in certain polar systems, particularly where strong coupling between the microwave field and dipolar reaction media was present. Dielectric measurements and temperature mapping suggested the formation of transient local hot spots and non-uniform heating at the microscopic level, which may facilitate crossing of activation barriers in specific microenvironments. Nevertheless, other examined reactions displayed kinetics fully explainable by rapid, homogeneous heating. The study concludes that microwave effects on reaction rates are system-dependent and may involve a combination of enhanced thermal transfer and localized field-induced phenomena. These insights have practical implications for reactor design, scale-up strategies, and the selection of solvent–substrate combinations to maximize efficiency while maintaining control over selectivity and safety in microwave-assisted synthesis.

Keywords: microwave irradiation, chemical kinetics, organic reactions, activation energy, non-thermal effects